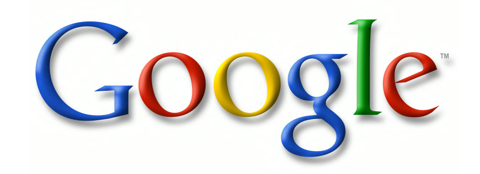
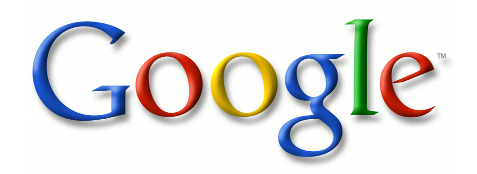
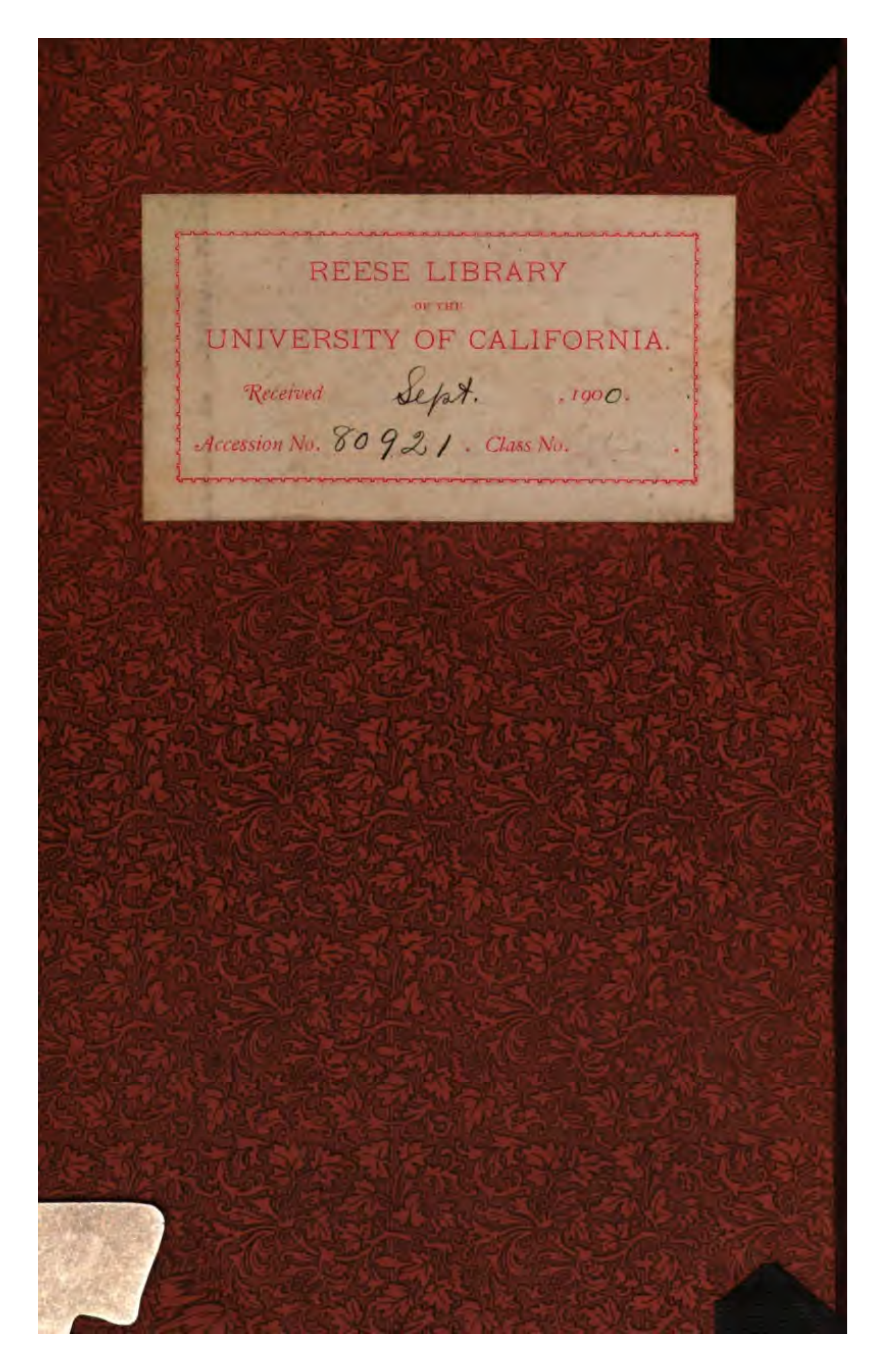





REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.
Received Sept. , 1900.
Accession No. 80921 . Class No.



1894

F. Roever.

Holzstiche
aus dem xylographischen Atelier
von Friedrich Vieweg und Sohn
in Braunschweig.

Papier
aus der mechanischen Papier-Fabrik
der Gebrüder Vieweg zu Wendhausen
bei Braunschweig.

MÜLLER-POUILLET'S

LEHRBUCH DER PHYSIK

UND

METEOROLOGIE.

ERGÄNZUNGSBAND:

KOSMISCHE PHYSIK.

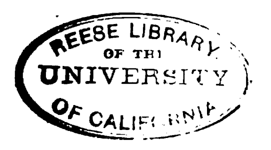
FÜNFTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE

VON

DR. C. F. W. PETERS,

ORDENTLICHEM PROFESSOR UND DIRECTOR DER STERNWARTE
ZU KÖNIGSBERG I. P.



BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1894.

JOH. MÜLLER'S

LEHRBUCH DER KOSMISCHEN PHYSIK.

FÜNFTE

UMGEARBEITETE UND VERMEHRTE AUFLAGE

VON

DR. C. F. W. PETERS,

ORDENTLICHEM PROFESSOR UND DIRECTOR DER STERNWARTE
ZU KÖNIGSBERG I. P.

MIT 447 IN DEN TEXT EINGEDRUCKTEN HOLZSTICHEN UND 25 DEM TEXTE BEIGEGEBENEN, SOWIE EINEM ATLAS VON 60 ZUM THEIL IN FARBENDRUCK AUSGEFÜHRTEN TAFELN.

BRAUNSCHWEIG,

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

1894.

VORREDE ZUR ERSTEN AUFLAGE.

Wie überhaupt die Naturwissenschaften zu den wichtigsten Factoren der geistigen Entwickelung des Menschengeschlechtes gehören, so ist namentlich das Studium der kosmischen Erscheinungen geeignet, allgemeine Bildung zu fördern, geistige Belebung und Veredlung zu vermitteln. Es ist deshalb erfreulich, dass nicht allein der Sinn für einen edleren geistigen Naturgenuss sich mehr und mehr verbreitet, sondern dass auch, trotz so mancher Anfeindungen und Verdächtigungen, welche in neuester Zeit gegen die Naturwissenschaften und gegen den naturwissenschaftlichen Unterricht laut wurden, das Streben, sich von den Gesetzen zu unterrichten, welche die ganze Schöpfung beherrschen, mehr und mehr aus dem engeren Kreise der Fachgelehrten heraustritt, dass man, und zwar mit Recht von den Gebildeten aller Stände eine Bekanntschaft mit den bedeutendsten Resultaten der Naturforschung sowohl als auch mit dem Geiste derselben verlangt.

In Deutschland ist es vorzugsweise Alexander von Humboldt, welcher durch seine geistreichen Schriften die allgemeine Aufmerksamkeit auf die kosmischen Erscheinungen gelenkt und den Sinn für deren Studium geweckt und belebt hat; sein „Kosmos“ namentlich hat einen ganz neuen Schwung in diesen Zweig unserer Literatur gebracht. — So mannigfaltig aber auch der Gegenstand jenes classischen Werkes behandelt worden ist, so fehlt es doch noch an einem Werke, in welchem die Physik des Himmels und der Erdkugel in Form eines Lehrbuches

systematisch zusammengestellt ist, an einem Werke, welches ausser der Astronomie, für welche es freilich nicht an trefflichen, mehr oder weniger populär gehaltenen Lehrbüchern fehlt, in gleicher Weise auch noch physikalische Geographie und Meteorologie umfasst.

Diese Lücke auszufüllen ist der Zweck des vorliegenden „Lehrbuchs der kosmischen Physik", welches ich insofern als ein populäres Werk bezeichnen muss, als dasselbe nur elementare Vorkenntnisse voraussetzt, und als alle in demselben vorkommenden mathematischen Entwickelungen nicht über das Bereich der Elementar-Mathematik hinausgehen. Der Standpunkt des Lesers, welcher in demselben vorausgesetzt wird, ist derselbe, welchen ich bei Abfassung meines grösseren Lehrbuches der Physik im Auge hatte, und ich habe hier wie dort im Wesentlichen dieselbe Entwickelungsmethode, dieselbe Darstellungsweise befolgt.

Um den Umfang dieses Buches nicht unnöthig auszudehnen, habe ich die wenigen zum Verständnisse nothwendigen mathematischen und physikalischen Vorkenntnisse nicht in dem Werke selbst entwickelt, wie dies bei den meisten Lehrbüchern der Astronomie gebräuchlich ist, sondern auf die entsprechenden Stellen mathematischer und physikalischer Lehrbücher verwiesen. Solche Vorkenntnisse bringen wohl die meisten Leser schon aus einem guten Schulunterrichte mit; für den Fall aber, dass denselben das Eine oder das Andere entfallen, dass ihnen die mathematischen Sätze und physikalischen Thatsachen, von welchen gerade Gebrauch gemacht werden soll, nicht mehr in ihrem Zusammenhange gegenwärtig sein sollten, ist es doch wohl besser, sich aus selbstständigen Lehrbüchern der fraglichen Hülfswissenschaften Raths zu erholen, als sich mit nothdürftigen Schaltcapiteln zu behelfen, die ihren Zweck doch nur höchst unvollständig erfüllen.

Wenn das Studium der Disciplinen, welche in dem vorliegenden Werke vorgetragen werden, auch allgemein geistbildend wirken soll, so genügt es nicht, den strebsamen Leser mit den Resultaten der wissenschaftlichen Forschung bekannt zu machen, ihm die Gesetze darzulegen, welche durch den Fleiss und den Scharfsinn der Astronomen und Naturforscher nachgewiesen worden sind; man muss ihm auch den Zusammenhang zwischen der unmittelbaren Anschauung und den Gesetzen zeigen, welche aus den

Beobachtungen abgeleitet worden sind; der Leser muss eine Einsicht in die Art und Weise erlangen, wie die Gesetze entwickelt werden, damit er einen Maassstab habe für die Würdigung derselben, damit er das fest begründete Gesetz unterscheiden lerne von der schwankenden Hypothese, das Nothwendige von dem Willkürlichen, die Thatsache von der Vorstellung; selbst auch populäre Schriften (im besseren Sinne des Wortes) müssen den Leser in den Geist der wahren naturwissenschaftlichen inductiven Methode einführen. Es war mein eifrigstes Streben, bei Abfassung der vorliegenden „kosmischen Physik" diese Aufgabe nach Kräften zu lösen.

Am schwierigsten ist die elementare Behandlung im astronomischen Theile durchzuführen. Hier nun war ich bemüht, soweit als möglich den Gang der Erscheinungen durch Beispiele zu erläutern, welche entweder von wirklich angestellten Beobachtungen, oder aus astronomischen Jahrbüchern entnommen sind, weil an concreten Beispielen am leichtesten eine lebendige und klare Anschauung gewonnen wird. Da wo allgemeine Entwickelungen die Kräfte der Elementar-Mathematik überschritten haben würden, habe ich, wenigstens für specielle Fälle, durch numerische Berechnungen den Zusammenhang verständlich zu machen gesucht.

Da sich der naturwissenschaftliche Unterricht vor allen Dingen auf Anschauung gründen muss, da namentlich in Werken, welche auch zum Selbstunterrichte dienen sollen, dieser Punkt ganz besonders zu berücksichtigen ist, so habe ich auf die Abbildungen eine ganz besondere Aufmerksamkeit und Mühe verwendet, und die Verlagshandlung hat keine Opfer gescheut, dies Bestreben in jeder Beziehung auf das Kräftigste zu unterstützen, wie schon ein oberflächlicher Anblick der in den Text eingedruckten Holzschnitte sowohl, als auch der zu einem Atlas verbundenen Stahlstiche zeigt. Für schwierig zu zeichnende Apparate habe ich mit Erfolg die Photographie in Anwendung gebracht. — Auf den Karten des Atlasses habe ich möglichst jede Ueberladung auf einem Blatte zu vermeiden gesucht. Weil das Bild des gestirnten Himmels durch Begrenzung der Sternbilder und durch Eintragen der Namen gestört wird, so sind in dem Atlas zweierlei Sternkarten gegeben; einmal solche, welche das Bild des gestirnten Himmels möglichst treu

wiedergeben, und dann solche, in welchen man die Abtheilung der Sternbilder, die Namen u. s. w. findet. Auf einer besonderen Tafel sind die wahren Bahnen der unteren, auf einer anderen die wahren Bahnen der oberen Planeten gegeben, und den Kometenbahnen sind zwei Tafeln gewidmet, weil die Vereinigung aller Planetenbahnen sammt den Bahnen der wiederkehrenden Kometen auf einer Tafel alle Uebersichtlichkeit gestört haben würde. Ebenso habe ich lieber die Anzahl der Erdkarten vermehrt und auf jede derselben immer nur ein einziges Curvensystem aufgetragen, damit dasselbe dem Leser auf den ersten Blick klar und verständlich sei, und er nicht nöthig habe, mit Mühe den Verlauf einer Linie in dem Chaos anderer Curven zu verfolgen, wie es unvermeidlich ist, wenn man mehrere Curvensysteme auf derselben Tafel vereinigt.

Die zahlreichen Abbildungen aller Art tragen so sehr zum leichtern Verständniss der vorgetragenen Materien bei, sie erleichtern so sehr das Studium derselben, und sind deshalb auch so sehr im Interesse des Lesers, dass von dieser Seite wohl schwerlich der Vorwurf eines unnöthigen Luxus zu fürchten ist.

Da ein Werk wie das vorliegende nicht allein zur Lectüre, sondern auch zum Nachschlagen dienen soll, so muss man es dem Leser möglichst erleichtern, sich darin zurecht zu finden. Ich habe deshalb dem Buche zwei Register beigegeben, ein systematisches, aus welchem man die Ordnung übersehen kann, in welcher die einzelnen Materien behandelt worden sind, und ein alphabetisches, aus welchem man erfährt, wo man nachzuschlagen hat, um über bestimmte Gegenstände Auskunft zu erhalten.

Ich habe das Buch mit Fleiss und Sorgfalt, mit Lust und Liebe ausgearbeitet. Möge es dazu beitragen, den Naturwissenschaften Freunde zu gewinnen und all das Gute zu fördern, was mit ihrer Cultur und Verbreitung verbunden ist.

Freiburg, im Januar 1856.

Dr. J. Müller.

VORREDE ZUR FÜNFTEN AUFLAGE.

Nahezu 38 Jahre sind verflossen, seit Joh. Müller die erste Auflage des „Lehrbuches der kosmischen Physik“ veröffentlichte und sie mit der vorstehenden Vorrede begleitete; die letzte von ihm herausgegebene Auflage erschien vor nunmehr 19 Jahren. Die bedeutende Entwickelung der kosmischen Physik in der Zeit vom Jahre 1856 bis 1875 zeigt sich unmittelbar durch eine Vergleichung des Umfanges wie des Inhaltes der ersten und vierten Auflage des vorliegenden Werkes. Auch während der letzten 19 Jahre haben sich unsere Kenntnisse bezüglich der in diesem Buche behandelten Gegenstände vielfach vermehrt, sowohl durch neue Entdeckungen, als auch durch theoretische Untersuchungen. Auf astronomischem Gebiete mussten manche Capitel in der neuen Auflage nicht unerheblich gegen früher verändert werden; — ich brauche nur der neuen Entdeckungen bezüglich der Rotation des Mercur und der Venus, der Monde des Mars und Jupiter, der veränderlichen Sterne vom Algol-Typus, und der Erklärung ihres Lichtwechsels durch Pickering, sowie deren Bestätigung durch die photographischen und spectralanalytischen Arbeiten Vogel's zu erwähnen.

Der Abschnitt über Ebbe und Fluth ist wesentlich verändert worden, wobei im Atlas die Karte mit Whewell's Isorachien, deren Berechtigung schon seit langer Zeit von den Fachgelehrten beanstandet wurde, fallen musste. Das dritte Buch, welches die calo-

rischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche behandelt, wurde zum grossen Theile gänzlich umgearbeitet; — hat sich doch die Meteorologie in einer Weise entwickelt, wie man es vor zwanzig Jahren kaum ahnen konnte. Hinsichtlich der Constitution des Erdinneren ist man in wissenschaftlichen Kreisen mehr und mehr der Ueberzeugung geworden, dass die frühere Ansicht vieler Geologen über die gluthflüssige Beschaffenheit des grössten Theiles der Erde, welche letztere lediglich mit einer wenige Meilen dicken abgekühlten Schicht bedeckt sein sollte, auf einer völligen Verkennung der beobachteten Thatsachen beruhte, und ich hoffe, dass das Buch einen Beitrag dazu liefern wird, dem jetzt vielfach verbreiteten Aberglauben betreffend die Grösse der Anziehung des Mondes auf den inneren Erdkern und die Atmosphäre, sowie die damit im Zusammenhange stehenden Einflüsse auf Erdbeben, vulkanische Ausbrüche und Witterungsverhältnisse ein Ende zu machen.

Bezüglich der Ursachen und der Erscheinungen des Erdmagnetismus stehen wir jetzt noch auf der Stufe des Sammelns von Beobachtungen. Durch Humboldt und Gauss wurden viele Physiker und Astronomen vor etwa 50 Jahren zu eifrigem Arbeiten auf diesem Gebiete veranlasst; später sank das Interesse daran, und nur vereinzelte Gelehrte fuhren mit der Anstellung regelmässiger Beobachtungen fort. Während der letzten Jahre ist erfreulicher Weise ein Umschwung dieser Verhältnisse eingetreten; zahlreiche erdmagnetische Vermessungen, die sich über grosse Gebiete der Erde erstrecken, sind ausgeführt und ihre Resultate wesentlich ergänzt worden durch die internationalen Polarexpeditionen, die arktischen Reisen Nordenskjöld's und Anderer, und die errungenen Resultate werden hoffentlich eine weitere Vermehrung erfahren durch die jetzt im nordwestlichen Grönland errichtete und unter Leitung von Peary stehende Station. Endlich dürfen wir hoffen, dass die kühne Expedition Frithjof Nansen's, wenn sie zu einem glücklichen Ende kommt, die Erkenntniss über das Wesen der erdmagnetischen Kräfte, sowie über die Verbreitung der Nordlichter erheblich fördern wird.

Es ist mein Bestreben gewesen, dem Buche auch in der neuen Auflage seinen bisherigen Charakter zu bewahren; es soll ein

Lehr- und Nachschlagebuch für weitere gebildete Kreise sein, und ist demgemäss die Voraussetzung über die Vorkenntnisse des Lesers auf mathematischem und physikalischem Gebiete gemacht worden. Um das Nachschlagen zu erleichtern, ist die neue Auflage mit einem ausführlicheren Register als die früheren versehen worden.

Königsberg i. P., im October 1893.

C. F. W. Peters.

INHALTSVERZEICHNISS.

Erstes Buch.

Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Erstes Capitel.

Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

Zweites Capitel.

Gestalt, Grösse und Axendrehung der Erde.

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

Viertes Capitel.

Die Planeten.

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

Sechstes Capitel.

Die Kometen und Meteorite.

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

Zweites Buch.

Kosmische und atmosphärische Lichterscheinungen.

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

Zweites Capitel.

Atmosphärische Lichterscheinungen.

Drittes Buch.

Die calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Erstes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Zweites Capitel.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

Viertes Buch.

Die elektrischen und magnetischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektricität.

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

VERZEICHNISS DER OCTAVTAFELN.

EINLEITUNG.

Es ist die Aufgabe der Experimentalphysik, die Naturkräfte kennen zu lernen und die Gesetze zu erforschen, nach welchen sie wirken; ihren Namen hat die genannte Wissenschaft daher, dass man das eben angedeutete Ziel vorzugsweise durch Versuche, durch Experimente zu erreichen sucht.

Für die Experimentalphysik ist die Erkenntniss der Naturgesetze an und für sich die Hauptsache. Wie sich mit Hülfe dieser Gesetze die Naturerscheinungen im Grossen erklären lassen, kann in dem Vortrage derselben wohl hier und dort als erläuterndes Beispiel besprochen werden, aber eine auch nur einigermaassen vollständige Durchführung nach dieser Seite hin würde der Physik im engeren Sinne des Wortes (dem, was man eben Experimentalphysik zu nennen pflegt) eine übermässige, die Uebersicht nur erschwerende Ausdehnung geben.

In der Physik lernen wir das Gesetz der Trägheit und die allgemeinen Gesetze der Bewegung kennen, wie sie durch irgend welche beschleunigenden Kräfte unter dem Einflusse der Trägheit zu Stande kommen; die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper aber und ihre mechanische Erklärung gehören der Astronomie an.

Die Experimentalphysik lehrt uns, wie sich die Luft unter dem Einflusse der Wärme ausdehnt und wie die erwärmte Luft in Folge ihres geringeren specifischen Gewichts aufsteigt; wie aber aus der ungleichen Erwärmung der Luftmassen, welche unsere Erdkugel einhüllen, die Winde entstehen, wie sich die Windverhältnisse verschiedener Gegenden gestalten, wie der Passatwind in der Nähe der Wendekreise und wie das Gesetz der Winddrehung in höherer Breite zu erklären sei, kann in der Experimentalphysik selbst nicht erörtert werden; die Untersuchung dieser Gegenstände gehört einem besonderen Zweige der physikalischen Wissenschaften, der Meteorologie, an.

Ebenso behandelt die Meteorologie die Wolken- und Nebelbildung, den Regen, die Thaubildung u. s. w., während die Experimentalphysik die Grundlage zur Erklärung dieser Phänomene liefert,

nämlich die Gesetze der Dampfbildung, der Condensation des Wasserdampfes und der strahlenden Wärme.

Eine ausführliche Betrachtung der meteorologischen und astronomischen Erscheinungen kann der Experimentalphysik ebenso wenig einverleibt werden, wie eine specielle Besprechung der technischen Anwendung physikalischer Gesetze.

Wie man reine und angewandte Mathematik unterscheidet, so könnte man auch reine und angewandte Physik unterscheiden; die kosmische und die technische Physik sind wohl die wichtigsten Zweige der letzteren.

Die kosmische Physik, welche die Astronomie und die Meteorologie umfasst, soll die Naturerscheinungen im Grossen verfolgen und sie, soweit als möglich, auf physikalische Gesetze zurückführen; — sie hat also zu zeigen, wie dieselben Kräfte, welche die Experimentalphysik uns kennen lehrt, in der ganzen Schöpfung zur Wirkung kommen, wie dieselben Gesetze, die wir im physikalischen Cabinet erforschen, das ganze Weltall beherrschen.

Da also die kosmische Physik gleichsam eine Anwendung der Physik zur Erklärung der Erscheinungen ist, welche wir in den Himmelsräumen und auf der Erdoberfläche beobachten, so werden auch die einzelnen Abschnitte, in welche sie zerfällt, den Hauptabtheilungen der Experimentalphysik: Mechanik, Optik, Wärme und Elektricität, entsprechen; das vorliegende Werk besteht demnach aus vier Büchern, deren Inhalt in Kürze folgender ist:

Das erste Buch bespricht die Bewegungserscheinungen der Himmelskörper und ihre mechanische Erklärung.

Das zweite Buch behandelt die kosmischen und atmosphärischen Lichterscheinungen.

Das dritte Buch beschäftigt sich mit den calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre.

Den Gegenstand des vierten Buches endlich bilden die Erscheinungen der Luftelektricität und des Erdmagnetismus.

ERSTES BUCH.

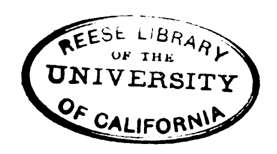
BEWEGUNGSERSCHEINUNGEN

DER

HIMMELSKÖRPER

UND IHRE

MECHANISCHE ERKLÄRUNG.

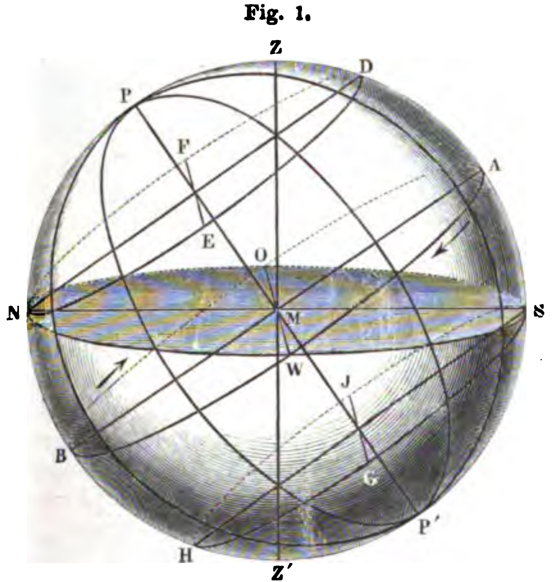


Erstes Capitel.

Der Fixsternhimmel und seine tägliche Bewegung.

Das Himmelsgewölbe. Der Himmel erscheint uns, wenn er nicht 1
durch Wolken verdeckt ist, als eine ungeheure Hohlkugel, von welcher wir jedoch nie mehr als die Hälfte auf einmal übersehen können. In einer ganz flachen Gegend oder auf dem Meere erscheint uns die Oberfläche der Erde als eine Ebene, welche von der sichtbaren Hälfte der Himmelskugel überwölbt ist. Wir befinden uns scheinbar in der Mitte dieser Ebene und in dem Mittelpunkte des Himmelsgewölbes.

Fig. 1.



Die durch das Auge des Beobachters gelegte wagerechte, oder gegen die Richtung der Schwere senkrechte Ebene, welche die sichtbare Hälfte der Himmelskugel von der unsichtbaren scheidet, heisst der Horizont.

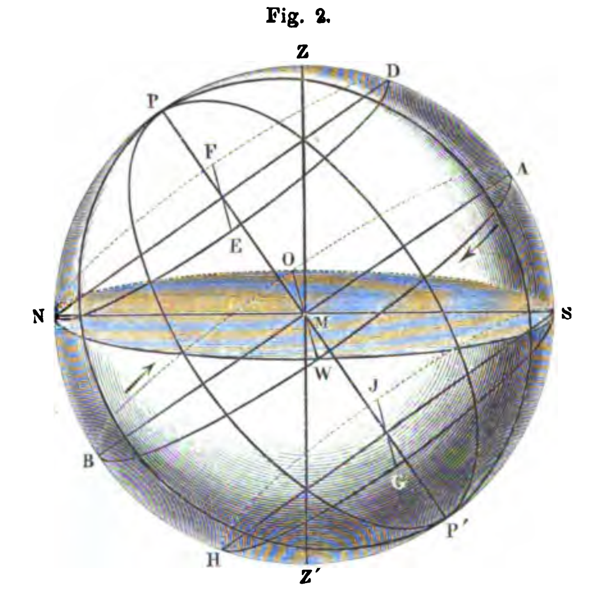
Fig. 1 stellt die Himmelskugel dar. M sei der Standpunkt des Beobachters, den man sich im Mittelpunkt der Hohlkugel vorstellt. — $NOSW$ ist die durch den Mittelpunkt M gelegte Horizontalebene. Die

obere Hälfte der Kugel sei die sichtbare, die untere die unsichtbare Hemisphäre des Himmels.

Denken wir uns durch M eine Linie gezogen, welche auf dem Horizont senkrecht steht, so bezeichnet diese Linie die Richtung der Schwerkraft; ihre Verlängerung trifft die Himmelskugel in den Punkten Z und Z'. Der gerade über dem Haupte des Beobachters liegende Punkt Z heisst das Zenith, der untere Z' heisst das Nadir.

Bei Tage sehen wir die Sonne glänzend am blauen Himmel stehen; sobald sie untergegangen ist, wird die Farbe des Himmels allmälig

Fig. 2.



dunkler und nun erscheint eine Menge funkelnder Sterne, deren um so mehr sichtbar werden, je dunkler das Himmelsgewölbe wird.

Die Sterne, ungleich an Glanz und Helligkeit, erscheinen uns unregelmässig über das Himmelsgewölbe zerstreut. Die wenigen Planeten und Kometen ausgenommen, haben sie eine unveränderliche Stellung gegen einander, weshalb sie auch den Namen der Fixsterne führen. Zur leichteren Orientirung hat man schon im grauen Alterthume die Sterne in Gruppen abgetheilt, welche die Namen von Heroen, Thieren etc. führen, weshalb man denn auch jene Sterngruppen als Sternbilder bezeichnet und sie in den Sternkarten gewöhnlich mit den entsprechenden Figuren bedeckt. Diese Figuren sind meist ganz willkürlich gewählt und durchaus nicht durch die Gruppirung der Sterne bedingt, wie man denn z. B. aus den entsprechenden Sterngruppen schwerlich einen Bären, einen Löwen, eine Jungfrau u. s. w. herausfinden wird.

Näheres über die Sternbilder in einem der nächsten Paragraphen.

Tägliche Bewegung der Gestirne. Obgleich die gegenseitige Stellung der Fixsterne unter einander eine unveränderliche ist, so ändert sich doch beständig ihre Stellung gegen die Erdoberfläche, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man, ohne seinen Beobachtungsort zu ändern, nur etwa eine halbe Stunde lang die Stellung irgend eines Sternes gegen eine Bergspitze, einen Thurm oder sonst einen festen Punkt auf der Erdoberfläche beobachtet. 2

Weit auffallender als mit blossem Auge erscheint diese eigene Bewegung der Gestirne, wenn man sie durch stark vergrössernde Fernröhre betrachtet. In kurzer Zeit hat der Stern das Gesichtsfeld des Fernrohres durchwandert.

Diese allen Fixsternen gemeinschaftliche Bewegung ist nun von der Art, dass es scheint, als drehe sich die ganze Himmelskugel sammt allen Sternen in je 24 Stunden um eine feste Axe, welche den Namen der Weltaxe führt.

Im mittleren Deutschland macht diese Weltaxe PP' (Fig. 2) einen Winkel von ungefähr 50^0 mit dem Horizont, und dieser Winkel PMN, welcher, wie wir bald sehen werden, für verschiedene Orte auf der Erde sehr verschiedene Werthe hat, wird mit dem Namen der Polhöhe bezeichnet. Die Punkte P und P', in welchen die Weltaxe das Himmelsgewölbe trifft, sind die Pole des Himmels. Der in Deutschland sichtbare Himmelspol P ist der Nordpol des Himmels. Die Polhöhe eines Ortes auf der Erdoberfläche ist also der Winkel, welchen die vom Auge des Beobachters nach dem sichtbaren Pole des Himmels gerichtete Visirlinie mit der Horizontalebene macht.

Eine rechtwinklig auf die Weltaxe durch den Punkt M gelegte Ebene $AWBO$ ist der Himmelsäquator. Mit demselben Namen des Himmelsäquators bezeichnet man aber nicht allein die genannte Ebene, sondern oft auch die Kreislinie, in welcher die Aequatorebene das Himmelsgewölbe schneidet.

Der Aequator theilt die Himmelskugel in eine nördliche und eine südliche Hemisphäre.

Denken wir uns senkrecht zur Ebene des Horizontes durch den Nordpol des Himmels P und das Zenith Z eine Ebene gelegt, so ist diese der Meridian, und die Durchschnittslinie NS des Meridians mit dem Horizont ist die Mittagslinie des Beobachtungsortes M.

Die Mittagslinie trifft die Himmelskugel in den Punkten N und S. Der dem Nordpole des Himmels näher gelegene, N, ist der Nordpunkt, S ist der Südpunkt.

Stellt sich der Beobachter in M so auf, dass er Norden im Rücken, Süden aber vor sich hat, so liegt Osten zu seiner Linken, Westen zu seiner Rechten.

Die Punkte O und W, in welchen eine in der Ebene des Horizontes, und senkrecht gegen die Mittagslinie NS durch M gelegte gerade Linie

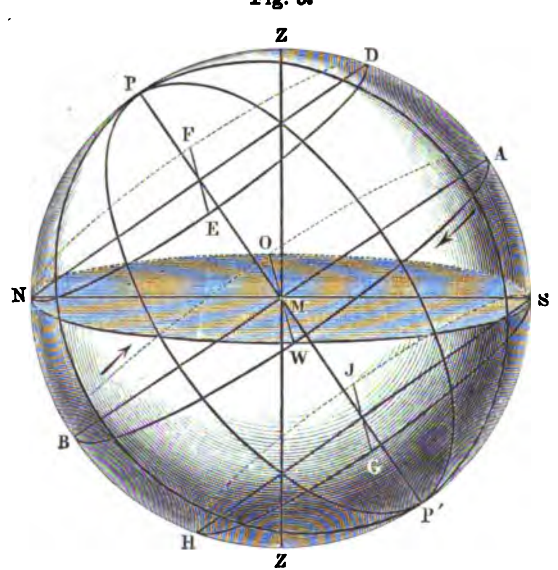
die Himmelskugel trifft, nennt man resp. den Ostpunkt und den Westpunkt des Himmels.

Nach diesen Definitionen können wir nun die Gesetze der täglichen Bewegung des Himmels näher erörtern.

Die scheinbare Drehung der Himmelskugel findet in der Richtung von Osten nach Westen, also in der Richtung der Pfeile in unserer Figur, statt. Auf der Ostseite steigen die Gestirne auf, sie erreichen im Meridian ihre grösste Höhe und gehen dann auf der Westseite wieder nieder. Wenn ein Stern gerade im Meridian steht, so befindet er sich in seiner Culmination.

Ein ungefähr 50^0 vom Nordpol rechtwinklig auf der Weltaxe stehender Kreis *DENF*, Fig. 3, schneidet denjenigen Theil des Himmels ab,

Fig. 3.



dessen Sterne im mittleren Deutschland stets über dem Horizonte bleiben. Diesem Kreise entsprechend ist auf der Südhälfte der Himmelskugel ein Kreis *SGHJ* gezogen, welcher den bei uns stets unsichtbaren Theil des Himmels abschneidet.

Diejenigen Sterne, welche beständig über dem Horizonte bleiben, nennt man Circumpolarsterne; dieselben passiren während 24 Stunden zweimal sichtbar den Meridian, einmal, wenn sie auf der Ostseite des Himmels aufsteigend ihren höchsten Punkt erreicht haben, und dann, wenn sie nach ihrem Niedergange auf der Westseite des Himmels in ihrer tiefsten Stellung angekommen sind.

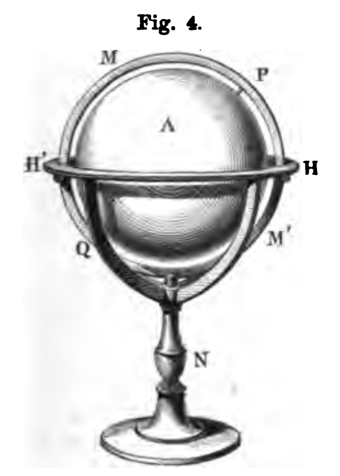
Die Circumpolarsterne haben also eine sichtbare obere und eine sichtbare untere Culmination.

Alle Sterne, welche sich auf der durch die Kreise $DENF$ und $SGHJ$ begrenzten Zone befinden, beschreiben Bahnen, welche theils oberhalb, theils unterhalb des Horizontes liegen: alle auf dieser Zone liegenden Sterne gehen also auf und unter. Derjenige Theil einer Sternbahn, welcher über dem Horizonte liegt, heisst der Tagbogen, der unterhalb des Horizontes liegende Theil dagegen ist der Nachtbogen.

Für alle Sterne, welche auf dem Himmelsäquator liegen, ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich. Auf der nördlichen Halbkugel der Erde ist der Tagbogen für die auf der nördlichen, der Nachtbogen für die auf der südlichen Hemisphäre des Himmels liegenden Sterne grösser.

Die auf- und untergehenden Sterne gehen allerdings auch während jeder Umdrehung der Himmelskugel zweimal durch die Ebene des Meridians, aber nur ihre obere Culmination ist sichtbar.

Fig. 4.



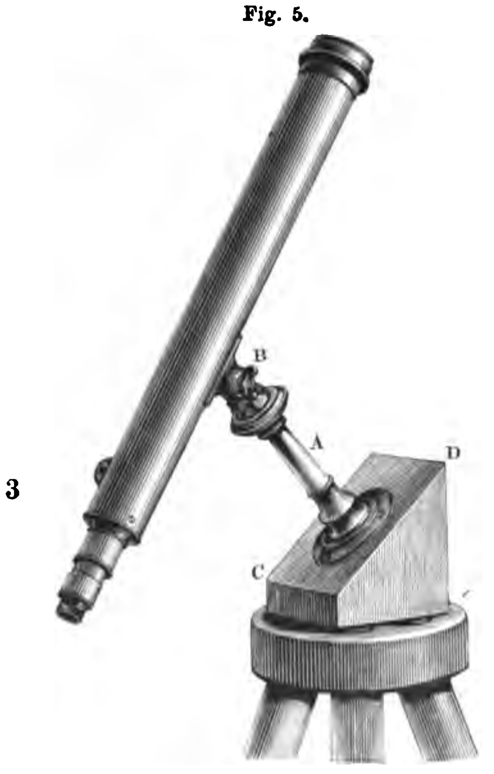
Die bisher besprochenen Erscheinungen der täglichen Bewegung des Himmels lassen sich sehr gut mit Hülfe eines Himmelsglobus, Fig. 4, anschaulich machen. Auf einem passenden Gestelle ist ein messingener Ring MM' eingesetzt, innerhalb dessen eine um die Axe PQ drehbare Kugel A angebracht ist. Auf dieser Kugel sind die verschiedenen Sterne und Sternbilder in gehöriger gegenseitiger Stellung verzeichnet. PQ stellt die Weltaxe, HH' die Ebene des Horizontes dar. Um die Erscheinungen nachzuahmen, wie sie einem Beobachter in Wirklichkeit erscheinen, hat man nur den Ring M so zu stellen, dass die Axe PQ um einen Winkel gegen den Horizont geneigt ist, welcher gleich der Polhöhe des Beobachtungsortes ist. Um eine gehörige Einstellung möglich zu machen, ist der Ring in MM' in Grade eingetheilt.

Wir werden später noch einmal auf den Gebrauch des Himmelsglobus zurückkommen.

Um sich davon zu überzeugen, dass jeder Stern in der That einen Kreis um die Weltaxe beschreibt, braucht man nur ein Fernrohr so aufzustellen, dass es sich um eine feste Axe drehen lässt, deren Richtung mit der Weltaxe parallel ist. Fig. 5 (a. f. S.) zeigt eine hierzu geeignete Vorrichtung. Von dem gewöhnlichen Stativ eines Fernrohres, welches eine Drehung um eine verticale und um eine horizontale Axe erlaubt, sind die Füsse weggenommen und die sonst vertical stehende Säule A rechtwinklig auf der schrägen Fläche CD eines Klotzes befestigt, welche mit dem Horizonte einen ebenso grossen Winkel macht wie der Himmelsäquator. Stellt man nun den Apparat so auf, dass die Fläche CD dem

Himmelsäquator parallel ist, so fällt die Axe BA mit der Richtung der Himmelsaxe zusammen. Richtet man alsdann das Fernrohr auf irgend einen Stern, schraubt man dann die Schraube B fest zu, so dass der Winkel, welchen das Fernrohr mit der Säule A macht, sich nicht mehr ändern kann, so braucht man das Fernrohr nur langsam um die Axe A zu drehen, um den Stern beständig im Gesichtsfelde zu behalten. Bei dieser Umdrehung beschreibt die Visirlinie des Fernrohres eine Kegelfläche und der Durchschnitt dieser Kegelfläche mit dem Himmelsgewölbe ist ein Kreis, welcher mit dem Himmelsäquator parallel läuft. Die beschriebene Art der Aufstellung eines Fernrohres nennt man die *parallaktische Aufstellung*. Wir werden später zweckmässigere und vollkommenere Formen parallaktischer Aufstellung kennen lernen.

Fig. 5.



3 **Sternzeit.** Die Zeit, welche zwischen je zwei auf einander folgenden oberen Culminationen eines und desselben Fixsternes vergeht, wird ein *Sterntag* genannt.

Der Sterntag wird in 24 Stunden, jede dieser Stunden in 60 Minuten, jede Minute in 60 Secunden getheilt.

Die mittlere *Sonnenzeit*, nach welcher unsere gewöhnlichen Uhren gehen, ist von der eben erwähnten Sternzeit verschieden; denn die Zeit, welche von einer Sonnenculmination bis zur nächsten vergeht, ist, wie wir bald sehen werden, grösser als ein Sterntag.

Ein Sterntag ist nach mittlerer Sonnenzeit gleich 23 Stunden 56 Minuten und 4,09 Secunden, woraus sich folgende Vergleichung der Sternzeit und der mittleren Sonnenzeit ergiebt:

Sternzeit	Mittlere Zeit
24h	23h 56m 4,09s
1h	0 59 50,17
1m	0 0 59,84
1s	0 0 0,997

und

Mittlere Zeit	Sternzeit
24h	24h 3m 56,56s
1h	1 0 9,86
1m	0 1 0,16
1s	0 0 0,003

Auf Sternwarten werden nicht allein Uhren gebraucht, welche nach mittlerer Sonnenzeit, sondern auch solche, welche nach Sternzeit gehen.

Die Sternzeit könnte man von der Culmination irgend eines beliebigen Sternes zählen, was aber in der That nicht geschieht; die Astronomen zählen vielmehr den Sterntag von der Culmination eines bestimmten, später näher zu definirenden Punktes auf dem Himmelsäquator an, welcher den Namen des Frühlingspunktes führt und an dessen Stelle gerade kein Stern steht. Vorläufig mag nur bemerkt werden, dass der Frühlingspunkt derjenige Punkt ist, in welchem die Sonne im März den Himmelsäquator passirt.

Hier mag auch die Bemerkung Platz finden, dass die deutschen Astronomen ihren Sonnentag von Mittag zu Mittag zählen, und nicht, wie es im bürgerlichen Leben geschieht, von Mitternacht zu Mitternacht, und dass sie ferner die 24 Stunden ununterbrochen fortzählen; und zwar beginnen sie ihren Tag am Mittag des gleichnamigen bürgerlichen Tages.

Die folgende kleine Tabelle enthält für verschiedene Stunden eines beliebigen Sonnentages die entsprechende Bezeichnung nach astronomischer und bürgerlicher Zeitrechnung:

Astronomische Zeit	Bürgerliche Zeit
6ten März 0h	6ten März 12h Mittags
" " 4	" " 4 Nachmittags
" " 8	" " 8 Abends
" " 12	6/7ten " 12 Mitternacht
" " 16	7ten " 4 Morgens
" " 20	" " 8 Morgens

4 **Sternbilder.** Für Jeden, welcher die astronomischen Erscheinungen studiren will, ist es von grosser Wichtigkeit, zunächst die Bühne kennen zu lernen, auf welcher alle jene Erscheinungen vor sich gehen, also sich am Fixsternhimmel zu orientiren, d. h. sich wenigstens mit den ausgezeichneteren Sternen und ihrer gegenseitigen Stellung bekannt zu machen.

Die Zahl der im mittleren Europa mit blossem Auge sichtbaren Fixsterne beträgt ungefähr 3000. Nach der Stärke ihres Glanzes hat man sie in sechs Classen abgetheilt, so dass die hellsten als Sterne erster Grösse bezeichnet werden, während man die schwächsten, der einem guten Auge noch erkennbaren, Sterne sechster Grösse nennt. Unter den im mittleren Deutschland mit freiem Auge sichtbaren Sternen giebt es

	14	Sterne	erster Grösse
	51	„	zweiter „
	153	„	dritter „
	325	„	vierter „
	810	„	fünfter „
	1871	„	sechster „
gegen	40	„	veränderlicher Grösse.

Dazu kommt aber noch eine ungeheure Anzahl von Sternen, welche nur durch Fernröhre sichtbar sind und welche teleskopische Sterne genannt werden.

Die Zahl der im mittleren Europa sichtbaren Sternbilder beträgt 57, wenn man einige kleinere, in späteren Zeiten auf Kosten der älteren eingeführten unberücksichtigt lässt. Die Namen dieser Sternbilder sind:

der kleine Bär,	der Widder,	Eridanus,
Cassiopeia,	der Stier,	der Hase,
Kamelopard,	Orion,	die Taube,
der Drache,	die Zwillinge,	das Einhorn,
Cepheus,	der kleine Hund,	der grosse Hund,
Perseus,	der Krebs,	das Schiff Argo,
der Fuhrmann,	der grosse Löwe,	Hydra,
der Luchs,	der kleine Löwe,	der Becher,
der grosse Bär,	der Sextant,	die Jungfrau,
die Jagdhunde,	das Haar der Berenice,	der Rabe,
Bootes,	die Schlange,	der Centaur,
die nördliche Krone,	Ophiuchus,	die Wage,
Hercules,	der Adler,	der Wolf,
die Leyer,	der Fuchs,	der Scorpion,
der Schwan,	der Pfeil,	der Schütze,
die Eidechse,	der Delphin,	das Schild des Sobieski,
Andromeda,	das Füllen,	der Steinbock,
die Fische,	Pegasus,	der Wassermann,
der Triangel,	der Walfisch,	der südliche Fisch.

Die Karten Tab. I. und III. des Atlasses zeigen in Polarprojection die Sternbilder der nördlichen Hemisphäre bis zu einer Entfernung von 60° vom Nordpol des Himmels, welcher den Mittelpunkt dieser Karten bildet.

Die Karten Tab. II. und IV. zeigen in Aequatorialprojection den Theil des Himmels, welcher von zwei rechtwinklig auf der Weltaxe stehenden Kreisen begrenzt ist, von denen der eine 50° nördlich, der andere 50° südlich vom Himmelsäquator liegt, es kommen also die Sterne am oberen Rande von Tab. II. und IV. auch am äusseren Rande von Tab. I. und III. vor; am unteren Ende von Tab. II. und IV. befinden sich aber Sterne, welche im mittleren Europa nie über den Horizont kommen.

In diesen Karten sind die Sterne erster bis fünfter Grösse eingetragen, und zwar die Sterne erster Grösse als achtseitige Sternchen, die Sterne zweiter, dritter und vierter Grösse als sechsseitige, fünfseitige und vierseitige Sternchen; die Sterne fünfter Grösse endlich als blosse Punkte.

Die Sternkarten Tab. I. und II. enthalten nur die Sterne selbst, um nicht durch Weiteres die Uebersichtlichkeit der Constellation zu stören. Die Abtheilung der Sternbilder, die Namen derselben, die Bezeichnung der einzelnen Sterne u. s. w. findet man auf den Sternkarten Tab. III. und IV., welche, wie man sich leicht überzeugen kann, den Karten Tab. I. und II. vollkommen entsprechen.

Ein auf der Karte Tab. III. mit dem Radius 50° um den Pol als Mittelpunkt zu ziehender Kreis begrenzt den Theil des Himmels, dessen Sterne für das mittlere Deutschland nicht auf- und nicht untergehen.

Tab. 1 und 2 *) stellen einzelne sternreiche Gegenden des Himmels in etwas grösserem Maassstabe sammt den gebräuchlichen Figuren dar, und zwar Tab. 1 die Sternbilder Orion und Stier, Tab. 2 Leyer und Schwan.

Bezeichnung der einzelnen Sterne. Die auffallenderen 5
Sterne waren schon von den Alten mit besonderen Namen belegt worden, wie z. B. Sirius, Capella, Regulus u. s. w.; andere Namen einzelner Sterne rühren von den Arabern her, wie Deneb, Aldebaran, Rigel u. s. w. Da jedoch die Zahl der einzelnen Sterne viel zu gross ist, um jedem einen eigenen Namen beilegen zu können, ohne dass alle Uebersichtlichkeit verloren ginge, so haben die Astronomen seit Bayer und Doppelmayr die helleren Sterne jedes Sternbildes mit griechischen oder lateinischen Buchstaben bezeichnet, und zwar so, dass man in der Regel den hellsten Stern des Sternbildes α, den folgenden β u. s. w. nannte. Später musste man jedoch auch noch zu Zahlen seine Zuflucht

*) Während der Atlas die grösseren Tafeln enthält, ist eine Reihe kleinerer dem Text unmittelbar angehängt. Zum Unterschied sollen die Tafeln des Atlasses mit lateinischen, die kleineren, dem Text angehängten Tafeln aber mit arabischen Ziffern bezeichnet werden.

nehmen; bei Weitem die grösste Zahl teleskopischer Sterne hat aber überhaupt keine besondere Bezeichnung.

Die bei uns sichtbaren Sterne erster Grösse sind:

1) Nördlich vom Aequator.

Wega oder α der Leyer.
Capella oder α des Fuhrmanns.
Arcturus oder α des Bootes.
Aldebaran oder α des Stiers.
Regulus oder α des grossen Löwen.
Atair oder α des Adlers.
Pollux oder β der Zwillinge.
Procyon oder α des kleinen Hundes.
Beteigeuze oder α des Orion.

2) Südlich vom Aequator.

Rigel oder β des Orion.
Sirius oder α des grossen Hundes (der hellste Fixstern).
Spica oder α der Jungfrau.
Antares oder α des Scorpions.
Fomalhaut oder α des südlichen Fisches.

Von Manchen wird auch noch Deneb oder α des Schwans zu den Sternen erster Grösse gerechnet.

Es wird keine Schwierigkeit haben, diese Sterne auf den Karten Tab. I. und II., sowie auch auf Tab. III. und IV. aufzufinden.

Unter den Sternen zweiter Grösse ist hervorzuheben:

α Ursae minoris oder der Polarstern.

Algenib oder α des Perseus, der nördliche von den beiden Sternen zweiter Grösse, welche unsere Karte in diesem Sternbilde zeigt. Der andere als ein Stern zweiter Grösse bezeichnete ist Algol oder β des Perseus, der Hauptstern im Haupte der Medusa. Algol, ist veränderlich, er wechselt zwischen zweiter und vierter Grösse.

Der grosse Bär enthält sechs Sterne zweiter Grösse, welche mit einem Stern dritter Grösse die Constellation Fig. 6 bilden, welche die Alten auch den Wagen nannten. Die Sterne δ, ε, ζ und η bilden den Schwanz des grossen Bären. Alle diese sieben Sterne führen auch arabische Namen; so heisst α des grossen Bären auch Dubhe; Merak und Mizar sind die arabischen Namen für β und ζ Ursae majoris.

Im grossen Löwen finden sich ausser einem Sterne erster Grösse, dem Regulus, noch drei Sterne zweiter Grösse, von denen der östliche β Leonis auch den Namen Denebola führt.

In der Nähe des schon erwähnten Pollux im Sternbilde der Zwillinge, und zwar nordwestlich von demselben, findet sich α Geminorum oder Castor, ein Stern zweiter Grösse.

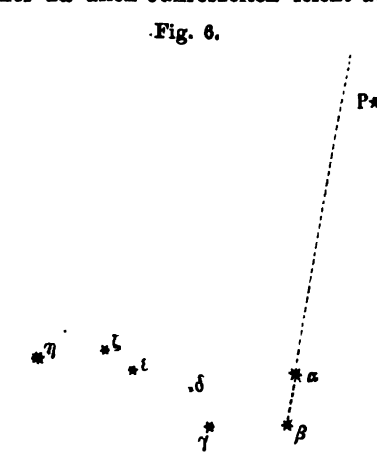
Zu den schönsten Sternbildern des Himmels gehören Orion und der Stier, welche in Tab. 1 besonders dargestellt sind. Wie bereits oben erwähnt wurde, sind im Orion zwei Sterne erster Grösse, Rigel und Beteigeuze, im Stier aber einer, nämlich Aldebaran. Im Orion bilden drei nahe zusammenstehende Sterne zweiter Grösse eine fast gerade Linie (den Jakobsstab oder den Gürtel des Orion), welche nach Osten hin verlängert etwas über dem Sirius hinläuft.

Das Sternbild des Stieres ist besonders durch zwei Sterngruppen, die Hyaden und die Plejaden (das Siebengestirn oder die Gluckhenne), ausgezeichnet, deren schon Homer Erwähnung thut. Die Hyaden, zunächst bei Aldebaran, bilden mit demselben ein Dreieck; nordwestlich davon stehen die Plejaden, ein dicht gedrängter Sternhaufen, in dessen Mitte sich Alcyone, ein Stern dritter Grösse, befindet.

Wir werden später noch auf die Eigenthümlichkeiten einzelner Fixsterne zurückkommen.

Orientirung am Himmel. Um sich am gestirnten Himmel zu 6
orientiren, geht man gewöhnlich vom Sternbilde des grossen Bären aus, welches durch die ausgezeichnete Constellation, Fig. 6, am nördlichen Himmel zu allen Jahreszeiten leicht aufgefunden werden kann. Denkt man sich die Linie, welche die Sterne α und β verbindet, in der Richtung von β über α hinaus verlängert, so geht dieselbe nahe bei einem Sterne P vorbei, welcher ungefähr $5^1/_2$mal so weit von α absteht als β. Dieser Stern ist der Polarstern (α des kleinen Bären), welcher immer sehr nahe nördlich vom Beobachter steht.

Fig. 6.



Hat man einmal den grossen Bären und den Polarstern am Himmel aufgefunden, so geben diese Sterne den Ausgangspunkt zu einer weiteren Orientirung am Himmel und zur Aufsuchung der übrigen Sternbilder. Eine öfters wiederholte Vergleichung guter Sternkarten und Himmelsgloben mit dem gestirnten Himmel selbst ist das beste Mittel, die einzelnen Sternbilder kennen zu lernen.

Um eine solche Orientirung zu erleichtern, mag hier noch angeführt werden, an welcher Stelle des Himmels Abends um 9 Uhr die wichtigsten Sternbilder zu finden sind.

In der Mitte Januar steht um 9 Uhr Abends der Stier und Orion am südlichen Himmel; Aldebaran hat bereits den Meridian

passirt und Rigel ist der Culmination nahe. Am südöstlichen Himmel ist Sirius leicht aufzufinden. Dem Zenith sehr nahe steht Capella im Sternbild des Fuhrmanns. Eine gerade Linie von Rigel über Beteigeuze führt zum Sternbild der Zwillinge, welches durch die beiden Sterne Castor und Pollux leicht kenntlich ist. Am ostnordöstlichen Himmel geht der grosse Löwe auf. Regulus steht im Osten schon ungefähr 20° über dem Horizont. Etwas westlich vom Nordpunkt ist Wega eben über dem Horizont sichtbar.

Unterhalb des Horizontes befinden sich um diese Zeit unter anderen die Sternbilder Jungfrau, Scorpion, Schütze, Adler, Delphin u. s. w.

In der bezeichneten Abendstunde in der Mitte Februar culminirt Sirius, und Orion steht westlich, Castor und Pollux in einer Höhe von etwa 70 Graden noch etwas östlich vom Meridian. Nach Nordnordwesten hin steht α des Schwans dem Horizont nahe. Am östlichen Himmel ist das Sternbild des Löwen jetzt ganz sichtbar, indem Denebola gerade nach Osten hin schon ungefähr 25° über dem Horizonte steht. Am westlichen Himmel findet man das Sternbild des Widders ungefähr 30° über dem Horizont. Im Nordosten ist Arcturus im Sternbild des Bootes eben aufgegangen.

Mitte März, Abends 9 Uhr. Der Widder dem Untergange nahe; Stier und Orion am westlichen Himmel, Regulus der Culmination nahe. Im Osten ist Spica im Sternbild der Jungfrau bereits aufgegangen. Gerade nach Norden steht α des Schwans eben über dem Horizont.

Mitte April, Abends 9 Uhr. Orion und der Stier dem Untergange nahe; der grosse Löwe culminirt, und zwar hat Regulus den Meridian bereits passirt. Denebola steht noch östlich von demselben. Zwischen Aldebaran und Regulus findet man das Sternbild der Zwillinge am westlichen Himmel ungefähr 40° über dem Horizont. Im Südosten des Himmels steht das Sternbild der Jungfrau. Der grosse Bär steht fast im Zenith. Sirius dem Untergange nahe.

Mitte Mai, Abends 9 Uhr. Nach Norden hin, etwas westlich vom Meridian und noch 20° über dem Horizont findet man das Sternbild der Cassiopeia. Am nordöstlichen Himmel ist der Schwan bereits ganz aufgegangen, und Wega steht schon ziemlich hoch über dem Horizont. Etwas weniger hoch über dem Horizont steht Capella nach Nordwesten hin. Am westlichen Himmel findet man die Zwillinge und den kleinen Hund. Spica nähert sich dem Meridian. Etwas weiter davon entfernt, aber höher, findet sich Arcturus im Sternbild des Bootes.

Mitte Juni, Abends 9 Uhr. Arcturus hat den Meridian bereits passirt und steht ungefähr 60° über dem Horizont. Am westlichen Himmel ist der grosse Löwe sichtbar. Die Zwillinge sind zum Theil schon untergegangen, aber Castor und Pollux noch sichtbar. Im Südsüdwesten steht das Sternbild der Jungfrau. Am östlichen Himmel findet man den Delphin, den Adler, den Schwan und die Leyer. Am südsüdöstlichen Himmel steht Antares im Sternbild des Scorpions.

Mitte Juli, Abends 9 Uhr. Antares hat bereits den Meridian passirt. Regulus ist dem Untergange nahe. Spica steht am südwestlichen Himmel. Gerade nach Norden hin Capella fast am Horizont. Hoch am östlichen Himmel stehen Delphin, Adler, Schwan und Leyer.

Mitte August, Abends 9 Uhr. Spica eben untergehend, der Scorpion 30° westlich vom Meridian nahe über dem Horizont. Bootes am westlichen Himmel. Wega culminirt, beinahe 80° über dem Horizont, etwas östlich davon steht der Schwan.

Mitte September, Abends 9 Uhr. Delphin und α des Schwans culminiren, am westlichen Himmel steht Arcturus dem Horizont nahe; am nordöstlichen Himmel sieht man Capella in geringer Höhe über dem Horizont.

Mitte October, Abends 9 Uhr. Am westlichen Himmel stehen Adler, Schwan und Leyer. Aldebaran und die Plejaden sind im Osten bereits aufgegangen.

Mitte November, Abends 9 Uhr. Gerade nach Norden hin steht der grosse Bär in seiner tiefsten Stellung. Cassiopeia beginnt zu culminiren. Orion ist im Osten, und etwas mehr nach Norden hin sind die Zwillinge aufgegangen. Ausserdem stehen am östlichen Himmel der Fuhrmann, Perseus, der Stier, und mehr nach Süden hin der Walfisch. α der Andromeda hat eben den Meridian passirt. Am westlichen Himmel Adler, Leyer, Schwan u. s. w.

Mitte December, Abends 9 Uhr. Am östlichen Himmel glänzen Orion, der Stier, die Zwillinge, der Fuhrmann mit der Capella. Im Süden steht der Walfisch. Der Widder, ungefähr 60° über dem Horizont, hat bereits den Meridian passirt. Dem Zenith nahe stehen Perseus und Cassiopeia. Ersteres Sternbild ist der Culmination nahe, letzteres hat den Meridian bereits passirt. Am westlichen Himmel ist der Delphin dem Untergange nahe, mehr nach Norden hin steht die Leyer noch über dem Horizont und zwischen beiden etwas höher am Himmel der Schwan.

Die am oberen Rande der Karte Tab. IV. notirten Monatstage bezeichnen die Stelle des Himmels, welche an den genannten Tagen um Mitternacht culminirt. Zieht man z. B. von dem Punkte des oberen Randes, welcher dem 9. December entspricht, eine verticale Linie herunter, so geht diese durch den Stern β Orionis; Rigel culminirt also um Mitternacht am 9. December.

Ebenso ersieht man aus jener Karte, dass das Sternbild des Scorpions Ende Mai und Anfangs Juni um Mitternacht culminirt.

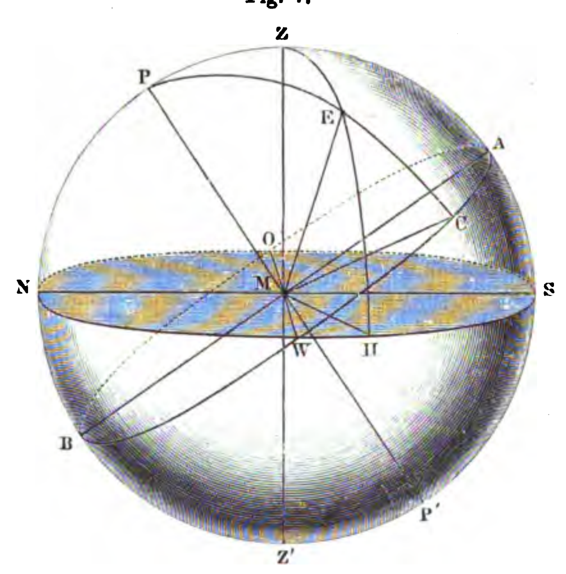
Höhe und Azimut. Um die Stellung eines Gestirns am Him- 7
mel mit der Genauigkeit zu bestimmen, wie es astronomische Zwecke erfordern, genügt es nicht, seine Stellung in einem Sternbilde anzugeben, es genügt z. B. nicht, zu sagen: der oder jener Stern steht im Kopfe des Drachen; der Mond befindet sich eben in der linken Schulter der

Jungfrau u. s. w. Solche Angaben können nur dazu dienen, annähernd den Ort des Gestirns am Himmel zu bezeichnen; eine genaue Ortsbestimmung erfordert mathematische Hülfsmittel.

Um irgend einen Punkt am Himmel mit mathematischer Genauigkeit zu bestimmen, bedarf es vor allen Dingen eines zweckmässig gewählten Coordinatensystems, und zwar zeigt sich für astronomische Zwecke ein auf der Oberfläche der Himmelskugel angebrachtes System grösster Kreise als das passendste.

Denken wir uns durch einen Stern E, Fig. 7, den Beobachtungsort M, und das Zenith Z desselben eine Ebene gelegt, so schneidet diese die

Fig. 7.



Himmelskugel in einem grössten Kreise ZEH, welcher rechtwinklig auf dem Horizonte steht.

Alle solche durch das Zenith gelegte, auf dem Horizont rechtwinklig stehende Kreise heissen Höhenkreise oder auch Verticalkreise.

Der Bogen EH vom Stern E bis zu dem Punkte H, in welchem sein Höhenkreis den Horizont trifft, heisst die Höhe des Sternes, der Bogen EZ aber vom Stern zum Zenith heisst die Zenithdistanz.

Höhe und Zenithdistanz eines Sternes ergänzen sich zu 90°. Ist also die Höhe eines Sternes 60°, so ist seine Zenithdistanz 30°.

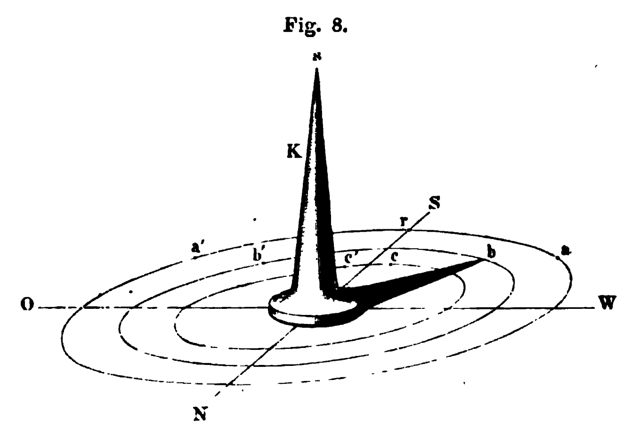
Der Bogen SH vom Südpunkte S des Horizontes bis zum Punkte H, in welchem der Höhenkreis des Sternes E den Horizont trifft, heisst das Azimut des Sternes E; das Azimut eines Sternes kann also auch als der Winkel definirt werden, welchen sein Höhenkreis mit der Ebene des Meridians macht.

Das Azimut wird vom Südpunkte S nach Westen hin gezählt. Das Azimut 90° entspricht also dem Westpunkte. Für den Ostpunkt des Horizontes ist das Azimut 270°. Ein Höhenkreis, dessen Azimut 315° ist, liegt 45° östlich vom Meridian, er trifft gerade nach Südosten hin den Horizont.

Durch Höhe und Azimut ist die Stellung eines Sternes vollkommen bestimmt. Eine solche Bestimmung gilt jedoch immer nur für einen gegebenen Zeitmoment; denn in Folge der täglichen Bewegung des Himmels ändert sich sowohl Höhe als auch Azimut eines Gestirns in jedem Augenblick.

Bestimmung des Meridians. Denkt man sich durch das Auge 8
des Beobachters und ein Gestirn, welches eben culminirt, eine Verticalebene gelegt, so ist diese der Meridian.

Fig. 8.



In dem Moment, in welchem die Sonne ihre grösste Höhe erreicht, ist der Schatten, welchen ein verticaler Stab auf eine horizontale Ebene wirft, am kürzesten. Um also die Mittagslinie zu bestimmen, könnte man in dem Augenblick, in welchem die Länge des Stabschattens ein Minimum geworden ist, durch das Ende desselben eine gerade Linie nach dem Mittelpunkte des Stabes zu ziehen, diese Linie wäre alsdann die Mittagslinie.

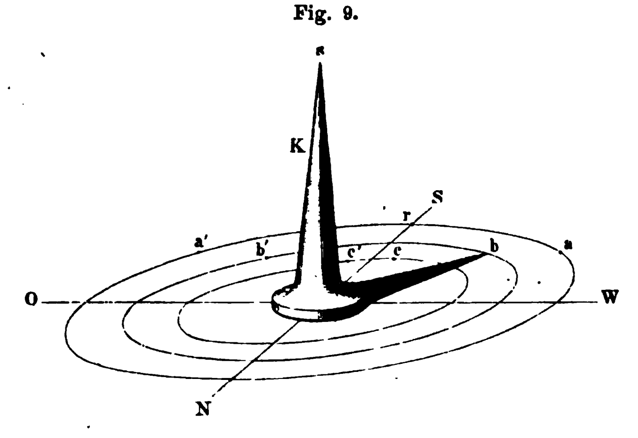
Nun aber ändert sich um die Mittagszeit die Länge des Schattens so langsam, dass man nicht erwarten kann, nach der angegebenen Methode die Richtung der Mittagslinie mit einiger Genauigkeit zu bestimmen. Genauer findet man sie auf folgende Weise:

Auf einer horizontalen Ebene (etwa der wagerecht gestellten Ebene eines Messtischblattes) ziehe man eine Reihe concentrischer Kreise und stelle dann einen spitzigen Kegel K von Holz oder Messing so auf, dass der Mittelpunkt seiner Grundfläche mit dem Mittelpunkte der gezogenen Kreise zusammenfällt. Dieser Kegel wirft nun einen Schatten. Zu einer

bestimmten Zeit des Vormittags wird die Spitze des Schattens gerade auf den äussersten Kreis fallen, und man bezeichnet nun den Punkt *a*, wo dies stattfindet. Je mehr die Sonne steigt, desto kürzer wird der Schatten, und so wird denn auch nach und nach die Spitze des Schattens den zweiten, den dritten u. s. w. Kreis treffen, und man bezeichnet jedesmal die Punkte *b*, *c* u. s. w., wo dies der Fall ist. In gleicher Weise bezeichnet man auch des Nachmittags die Punkte *c' b' a'*, in welchen die Spitze des Stabschattens dieselben Kreise trifft. Halbirt man nun den Bogen *aa'*, zieht man von dem Halbirungspunkte *r* eine Linie nach dem Mittelpunkte der Kreise, so ist dies die Mittagslinie, welche in unserer Figur durch *NS* bezeichnet ist. In gleicher Weise erhält man sie durch Halbirung des Bogens *bb'* und des Bogens *cc'*.

Wären alle Beobachtungen und Halbirungen fehlerlos, so müssten die so bestimmten Mittagslinien genau zusammenfallen. Ist dies nicht

Fig. 9.



der Fall, so nimmt man eine zwischen diesen liegende mittlere Richtung als Mittagslinie an.

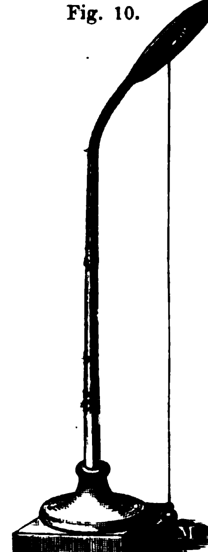
Eine solche Vorrichtung, wie überhaupt jede, welche dazu dient, um durch den Schatten irgend eines Körpers die Mittagslinie zu bestimmen oder Sonnenhöhen zu messen, wird ein Gnomon genannt. Ist einmal für einen Gnomon die Mittagslinie bestimmt, so erhält man durch diese Vorrichtung leicht Höhe und Azimut der Sonne für einen gegebenen Moment. Bezeichnen wir nämlich den Mittelpunkt der Kreise durch *M*, so ist der Winkel *bMr* das Azimut, der Winkel *bsM* ist die Zenithdistanz, der Winkel *sbM* ist die Höhe der Sonne in dem Moment, in welchem der Schatten der Spitze *s* nach *b* fällt.

Der Augenblick, in welchem die Spitze des Stabschattens gerade auf die Mittagslinie fällt, ist der wahre Mittag.

Wenn ein Gnomon die Sonnenhöhe mit einiger Genauigkeit geben soll, so muss er bedeutende Dimensionen haben, und in der That wandten auch die alten Aegypter die Obelisken an, eine Sonnenhöhe zu be-

stimmen; allein mit der grösseren Höhe des schattenwerfenden Körpers wird auch der Schatten der Spitze verwaschener, und hierin liegt alsdann eine neue Fehlerquelle.

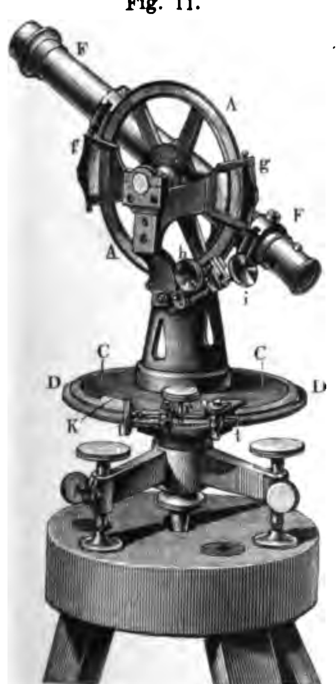
Fig. 10.



Um den letzteren Uebelstand zu vermeiden, bringt man an der höchsten Spitze des Gnomons eine mit einer kleinen Oeffnung versehene Metallplatte an. Eine derartige Vorrichtung ist in Fig. 10 dargestellt. Die Scheibe wirft einen Schatten, in dessen Mitte ein rundes, helles Fleckchen erscheint, welches durch die Oeffnung *s* hindurch vom Sonnenlicht beschienen wird. Die Mitte dieses erleuchteten Fleckchens, welche sich mit ziemlicher Genauigkeit ermitteln lässt, entspricht der Spitze des Stabschattens in Fig. 9. Ein von der Oeffnung *s* herabhängendes Bleiloth bezeichnet den Punkt *M* auf der horizontalen Ebene, welcher gerade unter *s* liegt. Die Länge *Ms* entspricht dann der Länge des verticalen Stabes, welcher den gewöhnlichen Gnomon bildet.

Auch nach diesem Princip hat man Gnomone im grossen Maassstabe ausgeführt, indem man die durchbohrte Metallplatte in der Wand oder in der Decke eines grossen, innen freien Gebäudes, etwa einer Kirche, anbrachte und das Bild der Sonne auf den gegenüberliegenden Fussboden fallen liess. Einen solchen Gnomon errichtete Paul Toscanelli im Jahre 1467 in der Kuppel des Domes zu Florenz. Die Oeffnung war 277 Fuss über dem Fussboden der Kirche angebracht.

Fig. 11.

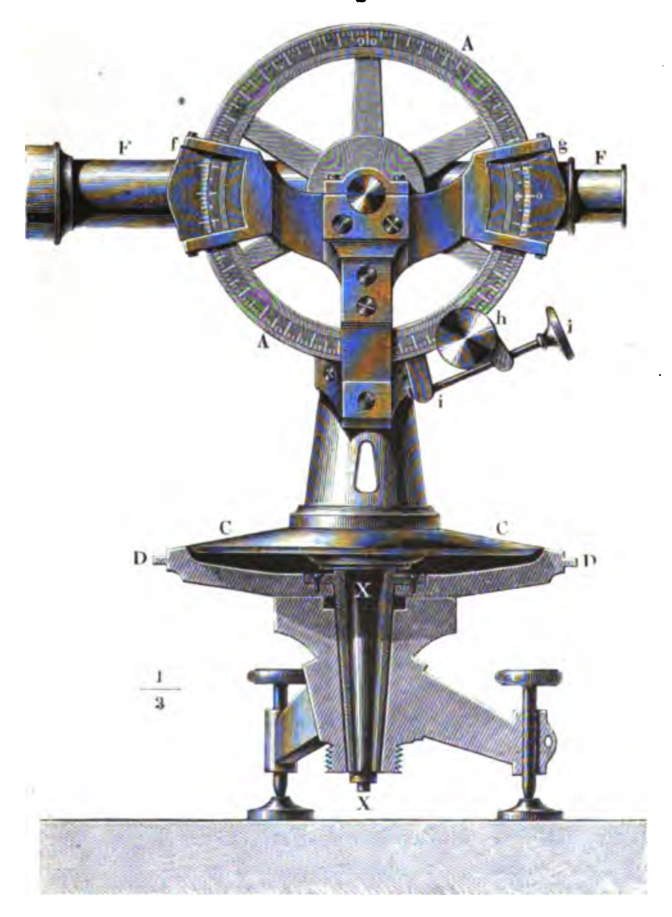


In älteren Sternwarten findet man noch solche Gnomone, in neueren Zeiten hat man sie verlassen, weil man jetzt weit genauere Mittel hat, die Richtung der Mittagslinie zu bestimmen und Sonnenhöhen zu messen.

Der Theodolit. Ein ungleich genaueres Mittel, sowohl Höhe und Azimut 9
zu messen, als auch den Meridian zu bestimmen, bietet der Theodolit dar. Ein solches Instrument ist in Fig. 11 perspectivisch und in Fig. 12 (a. f. S.) in grösserem Maassstabe in geometrischem

Aufriss dargestellt; es besteht im Wesentlichen aus zwei getheilten Kreisen, von denen der eine vertical, der andere horizontal ist. Der Verticalkreis *A* ist sammt dem Fernrohr *F* an einer horizontalen Axe befestigt und beide sind um diese Axe drehbar, so dass die gegenseitige Stellung des getheilten Verticalkreises und des Fernrohres nicht geändert werden kann. Zu beiden Seiten des drehbaren Kreises sind feste Nonien *f* und

Fig. 12.



g angebracht. Wenn das Instrument gehörig aufgestellt und justirt ist, sollen die Nullpunkte der Nonien *g* und *f* auf die Punkte 0 und 180 der Theilung zeigen, sobald die Axe des Fernrohres vollkommen wagerecht steht; dreht man dann das Fernrohr aus seiner horizontalen Richtung heraus, um es auf einen höher oder tiefer gelegenen Punkt zu richten, so kann man die Grösse dieser Drehung an den Nonien ablesen.

Die Stellschraube *h* dient dazu, bei jeder beliebigen Neigung des Fernrohres dieses sammt dem Verticalkreis festzustellen. Die Mikrometerschraube *i* wird benutzt, um feinere Verstellungen des Fernrohres in seiner verticalen Umdrehungsebene zu bewirken.

Das Gestell, welches die horizontale Axe des Fernrohres trägt, ist auf einem horizontalen, um den verticalen Zapfen *X* drehbaren Kreise *C* befestigt, welcher der Alhidadenkreis oder die Alhidade genannt wird. Dieser Kreis dreht sich genau passend innerhalb eines mit dem Fussgestell des ganzen Apparates fest verbundenen, ringsum mit einer Gradtheilung versehenen kreisförmigen Ringes *D*, welcher der Limbus genannt wird. Die Alhidade trägt an ihrem äusseren Rande zwei Nonien *K*, welche sich bei der Drehung der Alhidade längs der Theilung des Limbus hinbewegen und welche man deutlicher in Fig. 13 sieht, welche die Alhidade und den Limbus von oben gesehen darstellt, jedoch

Fig. 13.



mit Weglassung der Stellschraube *r*, Fig. 11, mittelst deren man die Alhidade an den Limbus anklemmen, und der Mikrometerschraube *t*, mittelst deren man eine feinere Verschiebung der Alhidade bewerkstelligen kann.

Um den Limbus und die Alhidade gehörig wagerecht zu stellen, was man an einer in der Mitte der Alhidade angebrachten Dosenlibelle erkennen kann, benutzt man die drei Fussschrauben (in Fig. 11 sowohl wie in Fig. 12 sind deren nur zwei sichtbar), welche das ganze Instrument tragen.

Wir bemerken noch, dass die Theodolitfernrohre stets astronomische Fernrohre sind (Lehrb. der Physik, 8. Aufl., Bd. II, 1, S. 371), dass sie also alle Gegenstände umgekehrt zeigen und dass sie mit einem Fadenkreuz versehen sind. An der Stelle nämlich, an welcher das Bild des Objectives zu Stande kommt, ist eine in der Mitte mit einer runden Oeffnung versehene Metallscheibe angebracht; über diese Oeffnung sind

dann zwei sehr feine Fäden (in der Regel Spinnenfäden) sich rechtwinklig kreuzend ausgespannt, Fig. 14. Will man einen bestimmten Gegenstand, etwa einen Stern, einvisiren, so richtet man das Fernrohr so, dass das Bild des zu beobachtenden Gegenstandes genau in den Durchschnittspunkt der Fäden fällt. Man sieht, dass auf diese Weise die Visirlinie des Fernrohres vollkommen genau bestimmt ist.

Fig. 14.

Will man durch das Theodolitfernrohr die Sonne beobachten, so muss man vor dem Ocular ein dunkelfarbiges Glas, das Sonnenglas, anbringen, weil das Auge ohne ein solches den Glanz des Sonnenlichtes nicht ertragen würde.

10 **Bestimmung der Mittagslinie mit Hülfe des Theodolits.** Um nun mit Hülfe des Theodolits die Mittagslinie zu bestimmen, verfährt man in folgender Weise: Man richtet das Fernrohr des Instrumentes einige Zeit, *n* Stunden vor der oberen Culmination eines Sternes, so, dass der Stern genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Der Höhenkreis und der Horizontalkreis werden nun mittelst der Stellschrauben *h* und *r* festgestellt und dann der Nonius des Horizontalkreises abgelesen. Durch diese Ablesung ist die Lage der Verticalebene des Fernrohres für den Moment dieser ersten Beobachtung vollkommen bestimmt.

Der Stern schreitet nun nach Westen vor, während zugleich seine Höhe bis zur Culmination zunimmt. Nach der Culmination nimmt die Höhe wieder ab, *n* Stunden nach der Culmination wird der Stern wieder genau dieselbe Höhe haben, wie zur Zeit der ersten Beobachtung. Wenn man also den Höhenkreis und das Fernrohr unverändert in der Stellung gegen den Horizont lässt, die sie bei der ersten Beobachtung einnahmen, so wird man, wenn nahezu die Zeit von *n* Stunden nach der Culmination verflossen ist, den Stern wieder im Gesichtsfelde des Fernrohres finden, wenn man die Alhidade sammt Höhenkreis und Fernrohr um die verticale Axe des Instrumentes nach Westen dreht. Zunächst wird nun der Stern wieder genau hinter den verticalen Faden des Fadenkreuzes gebracht und dann folgt man dem Sterne, indem man den Horizontalkreis langsam und zwar zuletzt mit Hülfe der Mikrometerschraube *t* gegen Westen fortschiebt, bis zu dem Moment, in welchem der Stern so tief gesunken ist, dass er wieder genau im Mittelpunkte des Fadenkreuzes erscheint. Man liest nun abermals den Nonius des Alhidadenkreises ab und erfährt durch diese zweite Ablesung den Winkel, welchen die Verticalebene des Fernrohres bei der ersten Beobachtung mit der Verticalebene des Fernrohres bei der zweiten Beobachtung macht. Halbirt man diesen Winkel, so ist dann eine durch die Halbirungslinie gelegte Verticalebene die Ebene des Meridians.

Hat z. B. der Nonius des Alhidadenkreises bei der ersten Beobachtung auf 152^0 gestanden, bei der zweiten aber auf 226^0, so wird sich

die Ebene des Fernrohres und des Höhenkreises im Meridian befinden, wenn man den Alhidadenkreis so stellt, dass der Nonius desselben auf 189° zu stehen kommt.

An der Sonne würde man in derselben Weise durch Vormittags- und Nachmittagsbeobachtungen den Meridian bestimmen können, wenn man z. B. jedesmal den scheinbar höchsten Punkt des Sonnenrandes auf den Durchschnittspunkt der beiden Fäden einstellte. Bei dieser Bestimmungsweise des Meridians mittelst correspondirender Sonnenhöhen ist indessen zu berücksichtigen, dass in der Zeit zwischen der Vormittags- und Nachmittagsbeobachtung die Sonne sich in ihrer scheinbaren jährlichen Bahn am Himmel (welche wir im dritten Capitel näher besprechen werden) fortbewegt hat, wodurch es nöthig wird, an der auf dem oben bezeichneten Wege gefundenen Mittagslinie noch eine Correction anzubringen, welche ihren grössten Betrag zur Zeit der Tag- und Nachtgleichen erreicht. Von diesem Uebelstande ist die Bestimmung des Meridians durch *correspondirende Sternhöhen* ganz frei.

Fig. 15.

Mit grosser Sicherheit erhält man den Meridian durch correspondirende Höhen von *Circumpolarsternen*, wenn man dieselben ungefähr sechs Stunden vor und nach ihrer Culmination anstellt.

Es ist leicht, zur Nachtzeit irgend einen Stern erster, zweiter oder dritter Grösse in das Gesichtsfeld des Fernrohres zu bringen; zur Nachtzeit aber ist das Fadenkreuz, welches bei Tage sich scharf von dem hellen Himmelsgrunde abhebt, ganz unsichtbar, wenn man nicht das Gesichtsfeld auf künstliche Weise erleuchtet.

Die Beleuchtung des Gesichtsfeldes in dem Fernrohre des Theodoliten kann man auf folgendem Wege bewerkstelligen. Auf das Objectivende des Fernrohres wird ein leichter Messingring ab, Fig. 15, aufgeschoben. An diesem sind zwei Messingstäbchen c, d befestigt, durch deren oberen Theil bei e und f je eine in eine Spitze auslaufende Schraube hindurchgeht, um welche sich der elliptische flache Ring A herumdrehen lässt. Die eine Seite des Ringes ist mit weissem Papier beklebt; durch eine seitlich aufgestellte Laterne wird diese weisse Fläche erhellt und wirft dann hinlänglich Licht in das Fernrohr, um das Gesichtsfeld so zu erleuchten, dass das Fadenkreuz deutlich sichtbar wird. Von dem Sterne fallen noch genügend viele Strahlen durch den elliptischen Ausschnitt B auf das Objectiv des Fernrohres, um ein deutliches Bild des Sternes zu geben.

Hat man einmal nach der angegebenen Methode den Punkt des Limbus ermittelt, auf welchen man den Nonius der Alhidade einstellen muss, damit die verticale Drehungsebene des Fernrohres mit der Ebene des Meridians zusammenfällt, so bleibt noch übrig, die Richtung der Mittagslinie ein- für allemal zu fixiren, damit man das Instrument wieder wegnehmen kann, ohne bei einer späteren Aufstellung an derselben Stelle den Meridian von Neuem bestimmen zu müssen.

Die Fixirung der Mittagslinie geschieht dadurch, dass man das in die Ebene des Meridians gebrachte Fernrohr gegen den Horizont neigt und nun sieht, ob sich auf demselben oder auf der Erdoberfläche nicht irgend ein Gegenstand, etwa eine Thurmspitze, eine Mauerkante, eine Giebelspitze, ein Blitzableiter u. s. w., findet, welcher gerade im Meridian liegt, welcher also den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes passirt, wenn man das Fernrohr um seine horizontale Axe dreht. Ein solcher Punkt wird nun das Meridianzeichen genannt. Eine verticale Ebene, welche durch den Aufstellungsort des Instrumentes und das Meridianzeichen geht, ist die Ebene des Meridians.

Wenn sich kein passendes Meridianzeichen vorfindet, so kann man ein solches herrichten, indem man etwa einen verticalen Strich an der Wand eines passend gelegenen Hauses zieht. Ein sehr zweckmässiges Meridianzeichen besteht in einem etwa 1 Meter langen, in Centimeter getheilten Maassstabe, welchen man in horizontaler Lage und in entsprechender Entfernung so befestigt, dass die Meridianebene des Instrumentes seine Länge ungefähr halbirt. Ist dieser Maassstab einmal gehörig befestigt, so kann man durch später wiederholte Bestimmungen der Meridianebene leicht ermitteln, welcher Theilstrich desselben es eigentlich sei, der genau die Richtung der Mittagslinie bezeichnet.

Uebrigens kann man, wenn ein mit fein getheiltem Horizontalkreise versehenes Intrument zur Verfügung steht, jeden in beliebiger Richtung stehenden, gut sichtbaren Gegenstand als Marke für die Auffindung der Meridianrichtung benutzen. Hat man auf die vorhin beschriebene Weise die Lage der Meridianrichtung auf dem Horizontalkreise des Theodoliten gefunden, so ergiebt eine Einstellung irgend eines Gegenstandes auf die Mitte des Fadenkreuzes und Ablesung des Horizontalkreises das Azimut des eingestellten Objectes. Ist dieses einmal bekannt, so kann man später jederzeit durch Einstellung desselben und Ablesung des Horizontalkreises umgekehrt die Richtung des Meridians leicht wiederfinden.

11 **Declination, Stundenwinkel und Rectascension.** Alle durch die Weltaxe PP', Fig. 16, gelegten Ebenen schneiden die Himmelskugel in grössten Kreisen, welche den Namen der Declinationskreise oder der Stundenkreise führen. Durch jeden Stern kann man sich einen Stundenkreis gelegt denken und alle diese Stundenkreise stehen rechtwinklig auf der Ebene des Aequators.

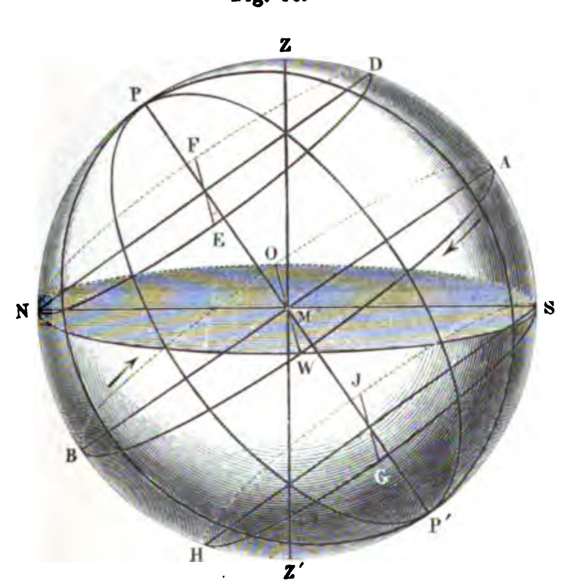
Der Viertelkreis PEC, Fig. 17 (a. f. S.), ist ein Theil des dem Sterne E angehörigen Stundenkreises. Dasjenige Bogenstück EC des Stundenkreises, welches zwischen dem Sterne und dem Aequator liegt, heisst die Declination oder die Abweichung des Sternes.

Die Declination eines Sternes ist nördlich oder südlich, je nachdem derselbe auf der nördlichen oder südlichen Halbkugel des Himmels liegt.

Der Bogen PE vom Sterne bis zum Pol heisst die Poldistanz. Poldistanz und Abweichung ergänzen sich zu 90°.

Während der täglichen Bewegung des Himmels ändert sich die Declination der Fixsterne nicht; die Abweichung eines Fixsternes ist also

Fig. 16.



eine unveränderliche Grösse, weil ja jeder Stern einen Kreis beschreibt, welcher mit dem Aequator parallel ist.

Alle solche Kreise, welche man sich auf der Himmelskugel parallel mit dem Aequator gezogen denkt, werden Parallelkreise genannt.

Der Winkel, welchen der Stundenkreis PEC des Sternes E mit dem Meridian PZA, Fig. 17, macht, wird der Stundenwinkel des Sternes E genannt. Der Stundenwinkel wird durch den Bogen AC auf dem Aequator gemessen, dessen ganzer Umfang entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden und deren Unterabtheilungen getheilt ist. Die Stunde bezeichnet man gewöhnlich mit ^{h}, die Zeitminute mit ^{m}, und die Zeitsecunde mit ^{s}; dagegen die Bogenminute mit $'$ und die Bogensecunde mit $''$.

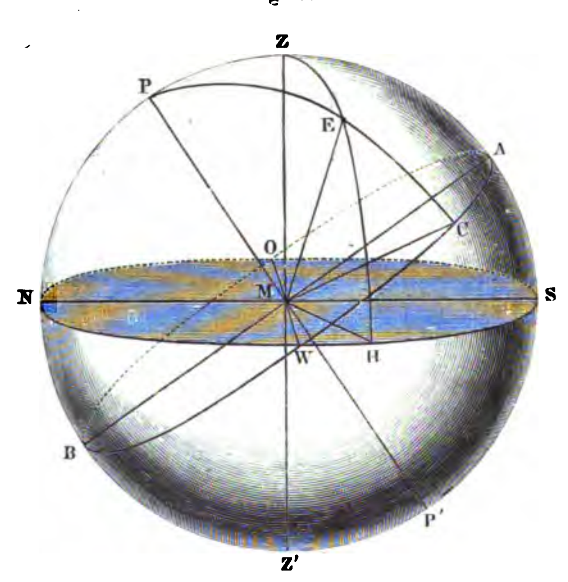
Es sind also:

$$1^h = 60^m = 15^0$$
$$4^m = 1^0$$
$$1^m = 15'$$
$$4^s = 1'$$
$$1^s = 15''.$$

Die Zählung geschieht stets von dem Punkte A aus, in welchem der Meridian den Aequator schneidet, nach Westen hin.

Der in Zeit ausgedrückte Stundenwinkel eines Sternes, welcher sich immer nur auf einen bestimmten Moment bezieht, sagt aus, wie viel

Fig. 17



Stunden, Minuten und Secunden (Sternzeit) bereits seit der letzten Culmination dieses Sternes verflossen sind.

Es ist klar, dass durch Stundenwinkel und Abweichung (Declination) für einen bestimmten Moment die Stellung eines Sternes am Himmelsgewölbe ganz in ähnlicher Weise bestimmt ist, wie durch Azimut und Höhe; während aber Höhe und Azimut eines Sternes sich durch die Drehung der Erde gleichzeitig ändern, bleibt die Declination constant und nur der Stundenwinkel ändert sich, weil in jedem Augenblicke ein anderer Punkt des Aequators es ist, von welchem aus der Stundenwinkel gezählt wird.

Eine von der Zeit unabhängige Bestimmung der Sternörter am Himmel erhält man, wenn man die Winkel auf dem Aequator nicht von einem veränderlichen Punkte aus zählt, sondern von einem Punkte, welcher eine feste Stellung auf dem Aequator, also mit der ganzen

Himmelskugel die tägliche Bewegung gemeinschaftlich hat. Zum Ausgangspunkte dieser Winkelzählung hat man den Seite 11 erwähnten Frühlingspunkt gewählt. Wir werden im dritten Capitel sehen, auf welche Weise dieser Punkt genau bestimmt werden kann.

Der in der Richtung von Süd nach Ost u. s. w. auf dem Aequator gezählte Winkel vom Frühlingspunkte bis zu dem Punkte, in welchem der Stundenkreis eines Sternes den Aequator trifft, wird die Rectascension oder die gerade Aufsteigung des Sternes genannt. Durch Rectascension und Declination ist die Stelle eines Sternes am Himmel vollkommen bestimmt.

Die Rectascension wird entweder in Graden oder in Stunden und ihren Unterabtheilungen ausgedrückt, wie wir dies schon beim Stundenwinkel gesehen haben. Die in Zeit ausgedrückte Rectascension eines Sternes giebt an, wie viel Stunden, Minuten und Secunden (Sternzeit) der fragliche Stern später culminirt als der Frühlingspunkt.

Folgendes ist die Rectascension (gerade Aufsteigung) und die Declination (Abweichung) einiger der ausgezeichnetsten Sterne für das Jahr 1890, nebst dem Betrage der jährlichen Veränderung durch die Präcession, von welcher im dritten Capitel die Rede sein wird. Mit Hülfe derselben kann man für nicht zu entfernte Zeiten den sogenannten mittleren Ort der Sterne berechnen. Um die Sternörter so zu erhalten, wie sie in Wirklichkeit dem Beobachter erscheinen (scheinbarer Ort), muss noch die Einwirkung der Nutation und Aberration (I. Buch, 3. Cap. und II. Buch, 1. Cap.) berücksichtigt werden. Für die umstehenden Sterne kann der scheinbare Ort für jeden Tag des Jahres aus dem Berliner Astronomischen Jahrbuche entnommen werden.

Namen	Grösse	Gerade Aufsteigung 1890,0	Jährl. Aend.	Abweichung 1890,0	Jährl. Aend.
α Andromedae	2	$0^h\ 2^m\ 42^s$	+ 3,1^s	+ 28° 28′ 59″	+ 19,9′
α Cassiopeiae	2½	0 34 16	+ 3,4	+ 55 56 2	+ 19,8
α Ursae minoris (Polaris)	2	1 18 31	+ 23,3	+ 88 43 18	+ 18,9
α Arietis	2	2 0 58	+ 3,4	+ 22 56 31	+ 17,2
α Ceti	2½	2 56 32	+ 3,1	+ 3 39 28	+ 14,3
α Persei	2	3 16 28	+ 4,3	+ 49 28 8	+ 13,1
η Tauri (Alcyone)	3	3 40 57	+ 3,6	+ 23 45 52	+ 11,4
α Tauri (Aldebaran)	1	4 29 36	+ 3,4	+ 16 17 15	+ 7,5
α Aurigae (Capella)	1	5 8 34	+ 4,4	+ 45 53 7	+ 4,0
β Orionis (Rigel)	1	5 9 15	+ 2,9	− 8 19 46	+ 4 4
β Tauri	2	5 19 20	+ 3,8	+ 28 30 49	+ 3,4
α Canis majoris (Sirius)	1	6 40 18	+ 2,6	− 16 33 57	− 4,7
α Geminorum (Castor)	2½ u. 3⅓	7 27 35	+ 3,8	+ 32 7 45	− 7,6
α Canis minoris (Procyon)	1	7 33 33	+ 3,1	+ 5 30 23	− 9,0
β Geminorum (Pollux)	1½	7 38 35	+ 3,7	+ 28 17 29	− 8,4
α Hydrae	2	9 22 11	+ 2,9	− 8 10 56	− 15,4
α Leonis (Regulus)	1½	10 2 31	+ 3,2	+ 12 30 16	− 17,5
α Ursae majoris	2	10 56 56	+ 3,7	+ 62 20 41	− 19,4
β Leonis	2	11 43 27	+ 3,1	+ 15 11 13	− 20,1
γ Ursae majoris	2½	11 48 3	+ 3,2	+ 54 18 23	− 20,0
α Virginis (Spica)	1	13 19 24	+ 2,4	− 10 35 13	− 18,9
α Bootis (Arcturus)	1	14 10 39	+ 2,7	+ 19 45 19	− 18,9
α Librae	2½	14 44 48	+ 3,3	− 15 35 4	− 15,2
α Coronae	2	15 30 2	+ 2,5	+ 27 5 7	− 12,3
α Scorpii (Antares)	1½	16 22 40	+ 3,7	− 26 10 15	− 8,3
α Lyrae (Vega)	1	18 33 13	+ 2,0	+ 38 40 54	+ 3,2
α Aquilae (Atair)	1½	19 45 25	+ 2,9	+ 8 34 41	+ 9,3
α Cygni	1½	20 37 31	+ 2,0	+ 44 52 11	+ 12,7
α Piscis austrini (Fomalhaut)	1½	22 51 34	+ 3,3	− 30 12 19	+ 19,0

Das Zeichen + bezeichnet eine nördliche, — eine südliche Declination.

Auf Himmelsgloben findet man den Aequator entweder in 360 Grade oder in 24 Stunden und Minuten getheilt. Der Nullpunkt dieser Theilung ist der Frühlingspunkt. Der durch den Frühlingspunkt gezogene Stundenkreis ist dann gleichfalls in Grade getheilt, so dass 90 Grade auf den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum Nordpol und 90 Grade auf den

Bogen vom Frühlingspunkte bis zum Südpol gezählt sind. Auf diesem Stundenkreise kann dann die Declination für jeden einzelnen Parallelkreis abgelesen werden.

In der Sternkarte Tab. IV. erscheint der Aequator als gerade Linie; man sieht ihn hier in 360 Grade getheilt. Die entsprechende Theilung in Stunden und Minuten findet sich am unteren Rande der Karte. Auf der durch den Nullpunkt der Theilung des Aequators (den Frühlingspunkt) gelegten Verticalen findet man dann eine weitere Theilung, durch welche die Declinationen gemessen werden.

Auf der Karte Tab. III. kann man die Rectascensionen am Rande, die Declinationen auf einer vom Nordpol nach dem Rande gezogenen geraden Linie ablesen.

Nach diesen Erläuterungen wird es eine zweckmässige Uebung sein, nach den in der obigen Tabelle mitgetheilten Werthen der geraden Aufsteigung und der Abweichung die dort verzeichneten Sterne aufzusuchen.

Um die in Zeit angegebene Rectascension rasch in Bogen- oder Winkelwerthe umwandeln zu können, dient folgende Tabelle:

1^s	Zeit	=	15″	Bogen
4^s	„	=	1′	„
1^m	„	=	15′	„
2^m	„	=	30′	„
3^m	„	=	45′	„

Minuten	Grade	Minuten	Grade
4 Zeit	1 Bogen	32 Zeit	8 Bogen
8 „	2 „	36 „	9 „
12 „	3 „	40 „	10 „
16 „	4 „	44 „	11 „
20 „	5 „	48 „	12 „
24 „	6 „	52 „	13 „
28 „	7 „	56 „	14 „

Stunden	Grade	Stunden	Grade
1 Zeit	15 Bogen	13 Zeit	195 Bogen
2 „	30 „	14 „	210 „
3 „	45 „	15 „	225 „
4 „	60 „	16 „	240 „
5 „	75 „	17 „	255 „
6 „	90 „	18 „	270 „
7 „	105 „	19 „	285 „
8 „	120 „	20 „	300 „
9 „	135 „	21 „	315 „
10 „	150 „	22 „	330 „
11 „	165 „	23 „	345 „
12 „	180 „	24 „	360 „

Es sei z. B. auf Tab. IV. α Leonis aufzusuchen. Seine Rectascension ist $10^h\ 3^m$ (die Secunden müssen bei der Kleinheit der Karte unberücksichtigt bleiben) oder 150° 45′; man geht also vom Frühlingspunkte aus auf dem Aequator nach der Linken bis zu dem Punkte, welcher $150^3/_4$ Grad entspricht, errichtet in demselben ein Perpendikel, auf welchem man dann mit dem Zirkel die Declination von $12^1/_2$ Grad nach Norden abzumessen hat, um den Ort des Regulus zu finden.

12 **Mittagsrohr und Mittagskreis.** Wir müssen nun sehen, auf welche Weise Rectascension und Declination der Gestirne mit Genauigkeit ermittelt werden kann.

Wenn ein Fernrohr so aufgestellt ist, dass es nur in einer verticalen Ebene bewegt werden kann, welche genau in die Ebene des Meridians fällt, so kann man an diesem Instrumente mit Hülfe einer guten Uhr genau den Zeitpunkt beobachten, an welchem irgend ein bestimmter Fixstern den Meridian passirt.

Man kann eine solche Beobachtung selbst bei Tage machen; denn obgleich man, während die Sonne am Himmel ist, die Sterne mit blossem Auge nicht sieht, so sind doch durch ein Fernrohr bei Anwendung hinreichend starker Vergrösserungen am Tage Sterne erster, zweiter, ja selbst dritter Grösse sichtbar.

Hat man nun an einem Tage die Culmination zweier Sterne beobachtet, so ist die Zeit (nach Sternzeit gemessen), welche zwischen der Culmination des ersten und der des zweiten verstreicht, die in Zeit ausgedrückte Differenz der Rectascensionen beider Sterne.

Hätte man z. B. an einem bestimmten Tage die Culmination von α Arietis an einer nach mittlerer Sonnenzeit gehenden Uhr um $4^h\ 30^m\ 18^s$ Nachmittags beobachtet, die Culmination von α Tauri aber um $6^h\ 58^m\ 32^s$, so ist der fragliche Zeitunterschied $2^h\ 28^m\ 14^s$ mittlerer Sonnenzeit oder $2^h\ 28^m\ 38^s$ Sternzeit. Die Rectascension von α Tauri wäre demnach um $2^h\ 28^m\ 38^s$ oder als Winkel ausgedrückt um 37° 9′ 30″ grösser als die Rectascension von α Arietis, d. h. mit anderen Worten, der Stundenkreis von α Arietis macht mit dem Stundenkreise von α Tauri einen Winkel von 37° 9′ 30″.

Ist also nur für einen einzigen Stern die Rectascension, d. h. der Abstand seines Stundenkreises vom Frühlingspunkte, bekannt, so kann man, von diesem Sterne ausgehend, nach der eben angegebenen Weise leicht die Rectascensionen aller übrigen Sterne ermitteln. Auf welche Weise aber der Abstand irgend eines Stundenkreises vom Frühlingspunkte bestimmt wird, das kann erst im dritten Capitel besprochen werden.

Um die Declination eines Sternes zu bestimmen, hat man nur das Fernrohr so zu richten, dass der Stern zur Zeit seiner Culmination gerade hinter dem horizontalen Faden des Fernrohrs steht, und dann die Höhe des Sternes an dem Verticalkreise abzulesen; zieht man von dieser Höhe den Winkel ab, welchen der Aequator mit dem Horizont macht,

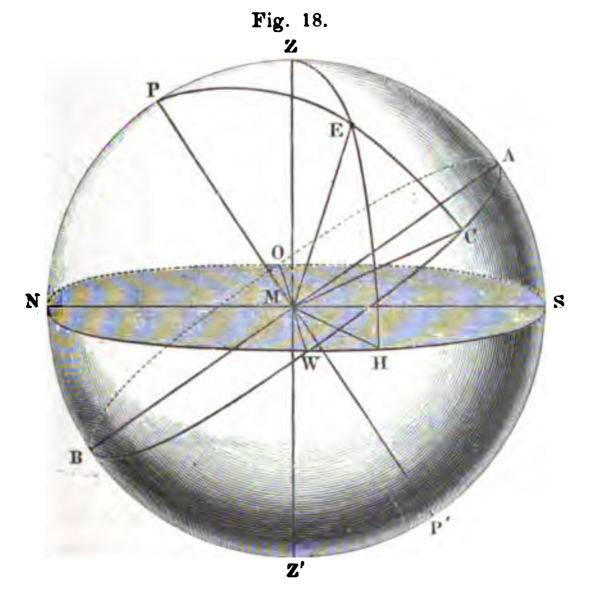
also den Bogen AS, Fig. 18, so erhält man die Declination des Sternes.

Es ist $AS = PZ = 90^0 - PN$, d. h. 90^0 — der Polhöhe, da man den Bogen NP oder den Winkel NMP, welchen die Weltaxe mit dem Horizont macht, die Polhöhe nennt.

Gesetzt, man habe an einem Orte, für welchen die Polhöhe gerade 50^0 beträgt, die Höhe von α Tauri zur Zeit der Culmination gleich $56^0\ 17'\ 0''$ gefunden, so ist die Declination dieses Sternes gleich $56^0\ 17'\ 0'' - 40^0 = 16^0\ 17'\ 0''$; denn wenn die Polhöhe NP 50^0 beträgt, so ist $PZ = SA = 40^0$.

Da die Bestimmung der Declination und Rectascension der Gestirne durch Beobachtungen im Meridian zu den wichtigsten Aufgaben der praktischen Astronomie gehört, so wendet man zu diesem Zwecke auf grösseren Sternwarten sehr sorgfältig gearbeitete und möglichst stabil

Fig. 18.



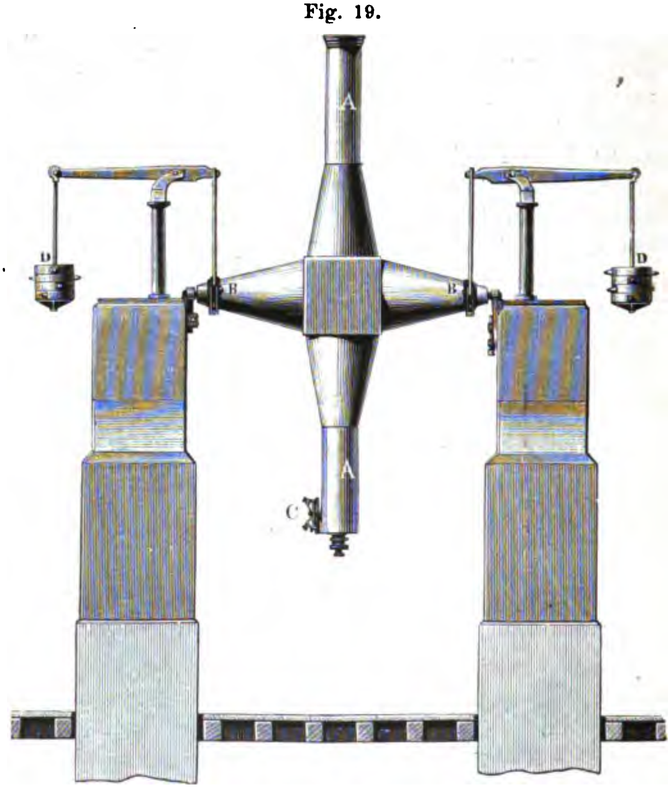
aufgestellte grössere Instrumente an, welche den Namen der Mittagskreise und der Passageninstrumente führen.

Der Mittagskreis oder Meridiankreis ist ein mit einem Fernrohr verbundener Höhenkreis von bedeutenden Dimensionen (man hat solche von 3 bis zu 6 Fuss Durchmesser), der nur in der Ebene des Meridians drehbar ist. Soll das Instrument lediglich zur Bestimmung der Rectascension dienen, so kann auch der Höhenkreis wegfallen, es bedarf dann nur eines in der Meridianebene drehbaren Fernrohres, welches dann ein Durchgangs- oder Passageninstrument genannt wird.

Fig. 19 (a. f. S.) stellt ein Passageninstrument dar. AA ist das Fernrohr, welches um eine horizontale Axe B gedreht werden kann, die in zwei

cylindrischen Zapfen endigt. Diese Zapfen ruhen auf Lagern, welche von massiven steinernen Pfeilern getragen werden. Diese Pfeiler sind für sich besonders fundamentirt und stehen mit dem übrigen Gebäude, in welchem das Passageninstrument aufgestellt ist, in keiner Verbindung;

Fig. 19.



sie gehen frei durch den Fussboden des Zimmers hindurch, dessen Schwankungen und zufällige Bewegungen also gar keinen Einfluss auf das Instrument haben können.

Fig. 20.

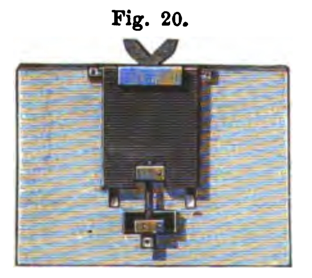
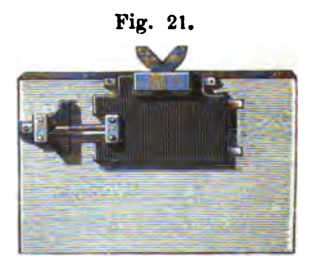


Fig. 21.



Die Einrichtung der Zapfenlager für die Axe *B* ist aus Fig. 20 und Fig. 21 zu ersehen. Das eine, Fig. 20, ist mittelst einer Schraube in

verticaler Richtung verschiebbar, um eine vollkommene Horizontalität der Axe B herstellen zu können; das andere, Fig. 21, kann dagegen in horizontaler Richtung verschoben werden, was nöthig ist, um die verticale Umdrehungsebene des Fernrohres genau in den Meridian zu bringen. — Zur genaueren Einstellung in den Meridian dient die Beobachtung der oberen und der unteren Culmination von Circumpolarsternen (§. 10).

Damit nicht das ganze Gewicht des Fernrohres auf den Zapfenlagern ruht, wodurch eine bedeutende Reibung und mit der Zeit eine Abnutzung der Zapfen und der Lager entstehen würde, ist das Fernrohr durch die Gegengewichte D, welche den grössten Theil seiner Last tragen, äquilibrirt.

Das Gebäude, in welchem das Passageninstrument aufgestellt ist, muss sowohl an der nördlichen und südlichen Wand als auch an der Decke mit einer durch Klappen verschliessbaren schmalen Oeffnung versehen sein, gerade als ob es in der Ebene des Meridians durchschnitten wäre. Diese Spalte erlaubt, das Fernrohr nach allen im Meridian gelegenen Punkten des Himmels zu richten.

Da die Sterne bei Tage mit blossem Auge nicht sichtbar sind, auch meistens das Gesichtsfeld des Fernrohres so klein ist, dass man einen Stern nicht wahrnehmen kann, wenn das Fernrohr nicht sehr genau die Richtung auf den Stern hat, so gebraucht man ein Hülfsmittel, um vor der Beobachtung des Sternes dem Fernrohr die erforderliche Richtung zu geben. Man weiss vorher nahezu, in welcher Höhe über dem Horizont sich derselbe im Augenblick seiner Culmination befindet, man braucht also nur dem Mittagsrohr eine gleiche Neigung gegen den Horizont zu geben, damit der Stern das Gesichtsfeld passirt. Zu diesem Zwecke ist das Fernrohr mit einem kleinen Höhenkreise verbunden, welcher entweder an der Axe B oder, wie es Figur 19 zeigt, seitwärts am Rohre bei C angebracht ist. In dem letzteren Falle muss der Index des Kreises mit einer Libelle versehen sein, mit deren Hülfe die Einstellung geschieht. Wenn das Fernrohr genau horizontal steht, und der Index so gedreht wird, dass er gerade auf $0^0\ 0'$ zeigt, so muss die Blase der Libelle sich in der Mitte des Rohres befinden. Bringt man das Fernrohr dagegen in irgend eine andere Richtung und dreht den Index so, dass die Blase der Libelle in der Mitte steht, so zeigt der Index die Richtung des Fernrohres über dem Horizonte an. Ein solcher kleiner Kreis dient lediglich zum Richten des Fernrohres und nicht zum Messen der Declination.

Das Passageninstrument wird meist in Verbindung mit einer Pendeluhr von grosser Genauigkeit gebraucht, deren Pendelschläge deutlich hörbar sind. Einige Zeit, bevor der Stern den verticalen Faden erreicht, schaut der Beobachter nach der Uhr, um sich die Stellung der Zeiger zu merken, und zählt dann, in das Fernrohr blickend, die Secunden nach dem Schlage der Uhr weiter bis zum Moment, wo er den Stern den verticalen Faden passiren sieht.

Die Uhr giebt die Zeit unmittelbar auf Secunden genau an, durch Uebung bringt es der Beobachter leicht dahin, noch Bruchtheile einer Secunde (etwa noch Zehntel-Secunden) zu schätzen.

Um eine grössere Genauigkeit der Resultate zu erlangen, hat man das einfache Fadenkreuz, wie wir es S. 24 kennen gelernt haben, durch eine Reihe von Fäden ersetzt, welche so geordnet sind, wie man Fig. 22 sieht. Neben dem mittleren verticalen Faden sind nämlich in gleichen Abständen auf jeder Seite noch zwei oder mehr andere aufgespannt. Man beobachtet nun für jeden dieser Fäden den Zeitpunkt, in welchem der Stern ihn passirt, reducirt darauf, nachdem die gegenseitige Entfernung der Fäden durch geeignete Messungen genau festgestellt ist, jede einzelne Beobachtung auf denselben, z. B. den Mittelfaden, und nimmt aus den so gefundenen Momenten das Mittel. Der Mittelfaden wird sich in der Regel nicht genau in dem Meridian befinden, sondern eine kleine Abweichung zeigen, welche durch die sogenannten Fehler der Aufstellung bewirkt wird. Dieselben setzen sich hauptsächlich zusammen 1) aus der nicht vollkommenen Horizontalität der Umdrehungsaxe, 2) daraus, dass die Gesichtslinie, d. h. die Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkte des Objectivs mit dem Punkte o des Mittelfadens, an welchem die Beobachtung des Sternes geschieht, nicht rechtwinklig gegen die Umdrehungsaxe ist, und 3) daraus, dass die Umdrehungsaxe gegen die Ost-West-Richtung einen kleinen Winkel bildet. Diese Fehler werden durch ein geeignetes Beobachtungsverfahren, dessen Auseinandersetzung hier zu weit führen würde, ermittelt, und jede beobachtete Sternpassage auf eine fehlerfreie Aufstellung des Instrumentes reducirt.

Fig. 22.

Von grosser Wichtigkeit für Rectascensionsbestimmungen sind die galvanisch registrirenden Uhren, welche von dem Amerikaner Locke zuerst in Anwendung gebracht wurden. Wird bei jedem Schlage des Pendels einer astronomischen Uhr die galvanische Kette geschlossen, in deren Schliessungsbogen eine dem Morse'schen Telegraphen ähnliche Vorrichtung eingeschaltet ist, so wird der Stift bei jedem Secundenschlage einen Punkt auf dem mit gleichmässiger Geschwindigkeit vorwärts bewegten Papierstreifen machen. Die Geschwindigkeit, mit welcher beim Locke'schen Apparate der Papierstreifen voranging, war der Art, dass die Secundenpunkte ungefähr einen Zoll von einander abstanden; bei den neueren Apparaten ist ihre Entfernung meist geringer.

Neben dem Elektromagneten dieses Schreibapparates ist aber noch ein zweiter angebracht, dessen Windungen einer anderen Kette angehören, welche der Beobachter beliebig schliessen kann, indem er mit dem Finger eine Taste anschlägt. Durch die Schliessung dieser zweiten Kette wird nun gleichfalls ein Stift gegen den Papierstreifen gedrückt; bei wiederholtem Anschlagen entsteht so auf dem Papierstreifen neben der ersten

Reihe von Punkten, den Secundenpunkten, eine zweite, welche wir Beobachtungspunkte nennen wollen.

Um den Moment einer Sternculmination zu erhalten, schaut der Beobachter in das Fernrohr, während er den Finger über der Taste hält, die er in dem Momente niederdrückt, in welchem der Stern hinter den Faden tritt. Auf diese Weise wird der Beobachtungsmoment auf dem Papierstreifen markirt.

Steht der Beobachtungspunkt neben einem Secundenpunkte, so ist der Beobachtungsmoment genau durch eine ganze Secundenzahl gegeben. Trifft der Beobachtungspunkt nicht neben einem Secundenpunkte, sondern zwischen zwei Secunden ein, so kann man mit dem Zirkel die Entfernung auf dem Papierstreifen abmessen und danach (mittelst einer Scala) bestimmen, welcher Bruchtheil einer Secunde noch zu der nächst vorhergehenden Secunde hinzukommt. So ist es möglich, den Zeitpunkt einer Beobachtung mit grosser Schärfe zu ermitteln.

Die grosse Genauigkeit der Ablesung ist ein wesentlicher Vorzug der galvanisch registrirenden Uhr, ausserdem aber gestattet diese Methode noch in gleicher Zeit ungleich mehr Beobachtungen anzustellen, als es vorher möglich war.

Eine registrirende Uhr lässt sich ferner noch mit dem elektrischen Telegraphen in Verbindung bringen und zu mannigfaltigen Zwecken benutzen. Dieselbe Uhr kann z. B. einen Registrirapparat an der Münchener und einen an der Wiener Sternwarte haben, und wenn an beiden Orten der Durchgang derselben Sterne durch den Meridian beobachtet wird, so lässt sich daraus mit einer früher nie erreichten Sicherheit die geographische Längendifferenz ableiten.

Lamont ersetzte den Papierstreifen durch eine mit Russ geschwärzte Metalltrommel, welche durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit um eine horizontale Axe gedreht wird. Auf beiden Seiten der Walze ragt die stählerne Umdrehungsaxe vor und ruht auf zwei messingenen Lagern. Die eine Hälfte dieser Axe ist nun mit einem Schraubengewinde versehen, so dass beim Umdrehen der Walze auch ein gleichförmiges Fortschieben derselben in der Richtung ihrer Längenaxe stattfindet; die Secundenpunkte, welche durch einen in Folge der Schliessung der Kette an die Walze angedrückten Stift hervorgebracht werden, bilden demnach auf derselben eine Spirale.

Die Beobachtungspunkte werden durch einen dicht neben dem ersteren angebrachten Stift markirt.

Hat der Beobachter den Beobachtungsmoment in der besprochenen Weise markirt, so tritt er nun, um die Zeit dieses Momentes zu bestimmen, zur Uhr und markirt in gleicher Weise auf der Linie der Beobachtungsmarken den Moment eines zu notirenden Secundenschlages. Nehmen wir z. B. an, diese Zeitmarke sei um $3^h\ 25^m\ 17^s$ gemacht und man finde, dass der Zwischenraum zwischen ihm und der Beobachtungs-

marke einer Zeitdauer von 52,7^s entspreche; so ist der Beobachtungsmoment $3^h\ 25^m\ 17^s - 52,7^s = 3^h\ 24^m\ 14,3^s$.

13 **Das Aequatorealinstrument.** Stundenwinkel und Declination sind in Beziehung auf den Aequator ganz dasselbe, was Azimut und Höhe für den Horizont sind, es muss sich demnach auch ein Instrument construiren lassen, welches für den Aequator dasselbe leistet, wie der Theodolit für den Horizont, welches also in gleicher Weise die Messung des Stundenwinkels und der Declination möglich macht. Ein solches Instrument wird Aequatorealinstrument genannt. Man könnte jeden Theodolit in ein Aequatorealinstrument verwandeln, wenn man den Azimutalkreis in eine solche Stellung brächte, dass er dem Aequator parallel wäre; die Umdrehungsaxe des Kreises C, Fig. 12, würde alsdann mit der Weltaxe zusammenfallen, der Limbus D würde zur Ablesung der Stundenwinkel, der Kreis A zur Ablesung der Declination dienen. Eine solche Aufstellung des Theodolits würde aber ebenso unbequem als unsicher sein, man hat deshalb das Aequatorealinstrument in anderer Weise construirt.

Fig. 23 stellt ein Aequatorealinstrument dar, wie sie auf Sternwarten gewöhnlich an einem erhöhten Orte des Gebäudes aufgestellt werden. A ist die der Weltaxe parallele Umdrehungsaxe, DD der Aequatoreal- oder Stundenkreis, BB der Declinationskreis.

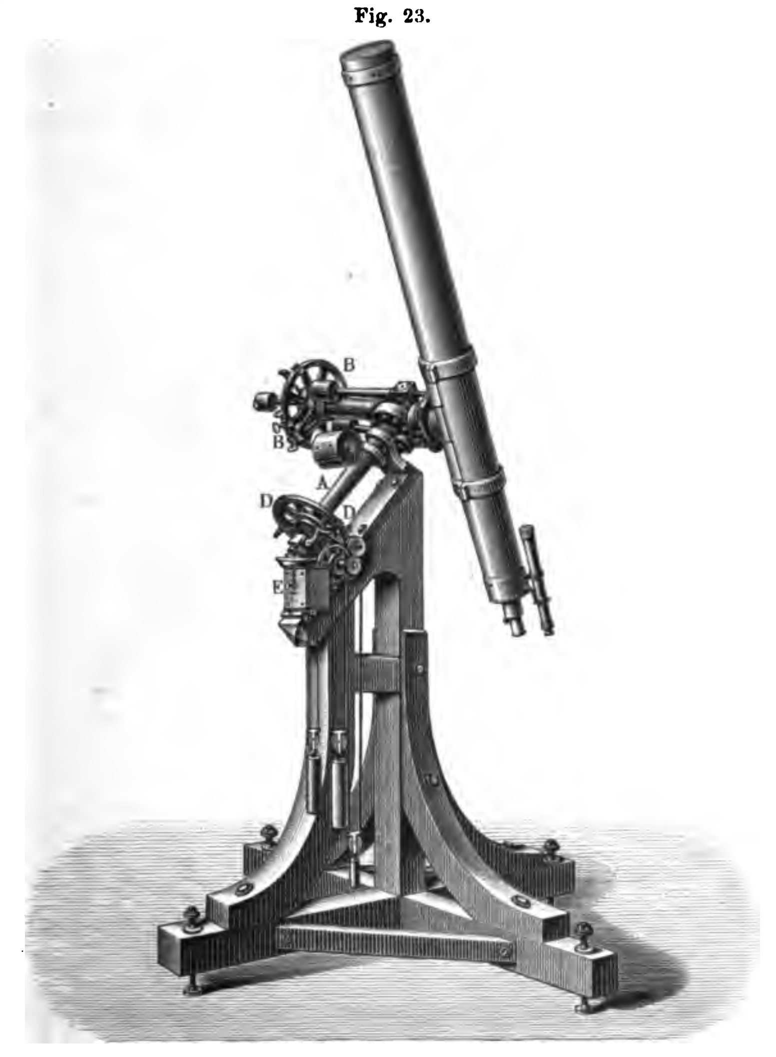
Wenn der Declinationskreis B vertical steht, so befindet er sich in der Ebene des Meridians und alsdann zeigt der Index des Stundenkreises auf Null. Der Index des Declinationskreises steht auf Null, wenn die Axe des Fernrohres in der Ebene des Aequators steht, wenn sie also einen rechten Winkel mit der Axe A macht.

Um das Instrument vor dem Einfluss der Witterung zu schützen, ist es mit einem gewöhnlich halbkugelförmigen Dache überdeckt, welches eine durch Klappen verschliessbare Oeffnung hat. Das ganze Dach ruht auf Rollen, so dass man es leicht mit Hülfe einer Kurbel um seine verticale Axe drehen und die Oeffnung nach der Seite des Himmels hinbringen kann, welche man gerade beobachten will.

Die am Aequatorealinstrument gemachten Messungen sind nicht der Genauigkeit fähig, wie die im Meridian am Passageninstrument und Meridiankreis gemachten, weil die in der Art der Aufstellung begründete Stabilität des Instrumentes nothwendig eine geringere sein muss, als bei den vorher beschriebenen Instrumenten. In der Regel werden daher mit dem Aequatoreal nur Vergleichungen der Positionen nahe bei einander stehender Sterne ausgeführt, auf welche die Wirkung der Instrumentalfehler sehr nahe die gleiche ist. So werden z. B. Planeten oder Kometen, die nicht immer im Meridian beobachtet werden können, weil häufig zu der Zeit ihrer Culmination das Tageslicht störend ist, mit benachbarten Fixsternen verglichen, deren Position aus guten Sternverzeichnissen entnommen, oder zu gelegener Zeit am Meridiankreise er-

mittelt wird. Solcher Vergleichungen kann man natürlich mit dem Aequatoreal in kürzerer Zeit eine grössere Anzahl machen, während mit dem Meridiankreise nur eine Beobachtung während der Culmination angestellt werden kann.

Fig. 23.



Das Aequatorealinstrument leistet dem Astronomen noch andere sehr wesentliche Dienste. Bei einem Fernrohre erscheint auch die Geschwindigkeit vergrössert, mit welcher die Gestirne in Folge ihrer täglichen Bewegung fortschreiten, und in kurzer Zeit ist sein Gesichtsfeld durchlaufen; man muss also bei gewöhnlichen Fernrohren fortwährend

ihre Richtung verändern, und zwar in verticalem und horizontalem Sinne, um den Stern nicht aus dem Gesichtsfelde zu verlieren. Bei dem Aequatorealinstrument ist es nun ungleich leichter, dem Gestirne zu folgen. Ist einmal das Fernrohr des Instrumentes auf einen Stern gerichtet und dann der Declinationskreis festgestellt, so dass sich die Neigung des Fernrohres gegen die Axe A nicht mehr ändern kann, so wird bei einer Umdrehung um die Axe A die Visirlinie des Fernrohres am Himmelsgewölbe einen Kreis beschreiben, welcher mit der Bahn des Sternes zu-

Fig. 24.



sammenfällt; es bedarf also nur einer langsamen Drehung um die eine Axe A, um das Gestirn im Gesichtsfelde zu behalten.

Die fragliche Drehung um die Axe A muss von der Art sein, dass in einer Minute (Sternzeit) der Drehungswinkel $^1/_4{}^0$, in einer Stunde 15^0 beträgt, dass also zu einer vollständigen Umdrehung 24 Stunden Sternzeit nöthig sind. Um eine gleichförmige Umdrehung um die Axe A hervorzubringen, hat man bei grösseren Aequatorealinstrumenten die Axe A mit einem Uhrwerke E in Verbindung gebracht, so dass das Fernrohr der Bewegung des Gestirnes folgt, welches man beobachten will.

Nach diesem Princip sind denn auch die grossen mit dem Namen der Refractoren bezeichneten Fernrohre aufgestellt, welche dazu dienen,

Beobachtungen über die Beschaffenheit einzelner Gestirne, z. B. des Mondes, des Saturn u. s. w., anzustellen, ausserdem aber auch mit geeigneten Mikrometerapparaten versehen sind, um die Positionen sehr

Fig. 25.



lichtschwacher Objecte mit benachbarten Fixsternen zu messen. Bei solchen Instrumenten wird dann auch die Drehung der Hauptaxe durch ein Uhrwerk bewerkstelligt.

Fig. 25 ist die Totalansicht eines transportabeln Aequatorealinstrumentes, von welchem Fig. 24 den mittleren Theil in grösse-

rem Maassstabe darstellt. Die Hauptaxe des Instrumentes, welches bei richtiger Einstellung desselben mit der Weltaxe parallel sein muss, wird durch einen eisernen Zapfen gebildet, welcher in der messingenen Hülse A drehbar ist. Wir wollen diese Axe als die Axe x bezeichnen. Auf dem oberen Ende der Hülse A ist der getheilte, dem Erdäquator parallele Kreis B, also der Aequatorealkreis, befestigt, während auf dem oberen Ende der in A drehbaren eisernen Axe x eine starke messingene Gabel C aufgeschraubt ist. Diese Gabel C trägt nun das Fern-



Fig. 26.

rohr, welches zunächst um eine rechtwinklig zur Axe x stehende Axe drehbar ist, deren Zapfenlager sich im oberen Theil der Gabel C befinden und die wir als die Axe y bezeichnen wollen.

An derselben Axe y, welche das Fernrohr trägt, ist der Declinationskreis D befestigt, welcher sich mit dem Fernrohr dreht.

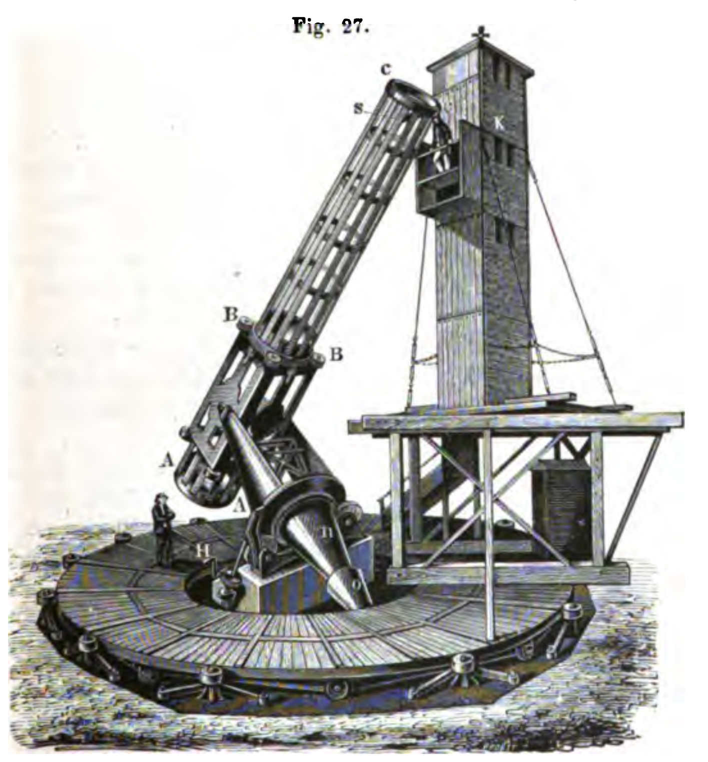
Der zum Declinationskreise gehörige Nonius n (Fig. 25) ist an der Gabel C befestigt. Er zeigt auf den Nullpunkt des Declinationskreises, wenn das Fernrohr rechtwinklig zur Weltaxe (also rechtwinklig zur Axe x) steht. In diesem Falle ist das Fernrohr gerade auf einen Punkt des Himmelsäquators gerichtet.

Aus dieser Lage hat man das Fernrohr sammt dem Declinationskreise um t Grade mehr in die Höhe oder nach unten zu drehen, wenn man auf einen Stern einstellen will, dessen nördliche oder südliche Declination t Grade beträgt.

Um das Fernrohr für eine bestimmte Declination t festzustellen, hat man nur die Klemmschraube s, Fig. 26, anzuziehen. Es wird dadurch eine fernere Drehung um die Axe y verhindert.

Der zum Aequatorealkreise B gehörige Nonius ist an der Gabel C befestigt und dreht sich mit dieser um die Axe x; er zeigt auf den Null-

Fig. 27.



punkt des Aequatorealkreises, wenn die Fernrohraxe gerade im Meridian steht.

In Fig. 24, in welcher dieser Nonius sichtbar sein sollte, ist derselbe des kleinen Maassstabes wegen weggelassen. In Fig. 26 ist er durch die Gabel C verdeckt. Er steht der Klemmvorrichtung k diametral gegenüber, durch welche die Gabel C an den Kreis B festgeklemmt, also eine weitere Umdrehung um die Axe x verhindert werden kann.

P ist ein Gewicht, welches zur Aequilibrirung des Fernrohres, und o ist eine Wasserwage, welche zur richtigen Aufstellung des Instrumentes dient.

Ein solches Instrument führt gewöhnlich nur dann den Namen eines Aequatorealinstrumentes, wenn seine Kreise ziemlich gross und zu Messungen geeignet sind. Sind sie aber kleiner, so dass sie nur zur Einstellung des Fernrohres dienen, so wird das Instrument ein parallaktisch aufgestelltes Fernrohr oder ein Fernrohr mit parallaktischem Stativ genannt (siehe S. 10).

Auch bei Spiegelteleskopen wird die parallaktische Aufstellung in Anwendung gebracht. Fig. 27 (a. v. S.) stellt ein grosses Newton'sches Spiegelteleskop dar, welches Lassell in Sandfield-Park bei Liverpool parallaktisch aufstellen liess. Der bei *A* befindliche Hohlspiegel hat 4 engl. Fuss Durchmesser und 36 Fuss 7 Zoll Brennweite. Das Rohr ist aus Streifen starken Eisenblechs so zusammengesetzt, dass zwischen je zwei solchen Streifen ein freier Raum bleibt, dass also die Luft im Inneren des Rohres nach allen Seiten hin frei mit der äusseren communicirt. Bei *S* ist der Planspiegel angebracht, welcher die vom Hohlspiegel *A* kommenden Strahlen gegen das an der Seite des Rohres befindliche Ocular reflectirt.

Zunächst ist das ganze Instrument um die Axe des Kegels *n* drehbar, welche mit der Richtung der Weltaxe zusammenfällt; dann aber kann, wie man aus der Figur ohne weitere Erläuterung sieht, der Winkel des Rohres gegen die Weltaxe beliebig verändert werden.

Die Umdrehung des Instrumentes um die Weltaxe geschieht durch einen Arbeiter mittelst der Kurbel *H*. Die Einrichtung ist so getroffen, dass das Rohr dem täglichen Lauf der Gestirne folgt, wenn der Arbeiter die Kurbel einmal in der Secunde umdreht.

Der Beobachter steht auf einem Thürmchen von Holz, welches auf einem ringförmigen, um eine verticale Axe drehbaren Holzgestelle steht; die Umdrehung derselben wird durch einen in dem Häuschen *K* sitzenden, eine Kurbel drehenden Arbeiter besorgt, und hat zum Zweck, den Beobachter dem continuirlich bewegten Rohre nachzuführen.

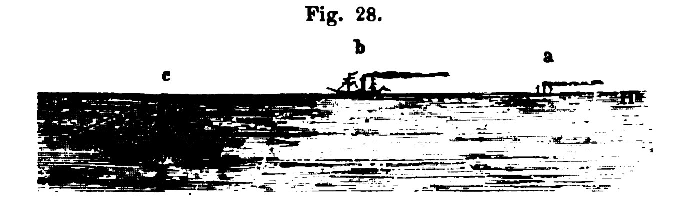
Zweites Capitel.

Gestalt, Grösse und Axendrehung der Erde.

Krümmung der Erdoberfläche. Bisher haben wir die Erdoberfläche als eine Ebene betrachtet, wie sie, die Unebenheiten der Gebirge abgerechnet, auf den ersten Anblick wohl auch erscheinen mag; eine aufmerksame Beobachtung der Meeresoberfläche zeigt uns aber schon, dass die Erdoberfläche gekrümmt sein muss. 14

Wenn man von einem etwas erhöhten Standpunkte, sei es von einem Thurme oder einem Berge am Ufer, oder von den Masten eines Schiffes aus, auf das offene Meer hinausschaut, so sieht man von einem hinläng-

Fig. 28.



lich entfernten Schiffe nur die Spitzen der Masten oder des Schornsteins, wie es bei *a*, Fig. 28, dargestellt ist. Wenn sich das Schiff dem Beobachter nähert, so scheint es allmählich aus dem Wasser aufzutauchen, bis es endlich vollständig sichtbar wird und nun gerade auf der Grenzlinie *HH* zwischen Himmel und Meer zu ruhen scheint, wie bei *b*. Bei fortdauernder Annäherung scheint nun das Schiff auf der Meeresoberfläche von der Linie *HH* herabzusteigen, so dass es mehr und mehr, und wenn der Beobachter hoch genug steht, endlich ganz auf die Meeresfläche projicirt erscheint, wie bei *c*.

Auch auf Landseen von einiger Ausdehnung zeigt sich die eben besprochene Erscheinung; Fig. 29 stellt dieselbe dar, wie man sie auf dem Bodensee beobachtet, wenn man sich 3 bis 4 m über dem Wasserspiegel, etwa auf dem Verdeck eines Dampfschiffes, befindet. Um die fernen Schiffchen hinlänglich deutlich zu sehen, muss man jedoch ein, wenn auch schwach vergrösserndes Fernrohr anwenden.

Von dem Hafen von Friedrichshafen aus kann man nur den oberen Theil der Häuser von Rorschach sehen; um von Friedrichshafen aus

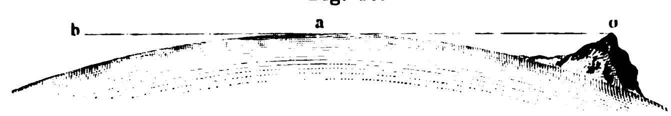
Fig. 29.



auch das Seeufer von Rorschach zu sehen, muss man sich schon 25 m hoch über den Spiegel des Sees erheben. Zu Bregenz muss man sich schon 50 m hoch über den See erheben, um Constanz vollständig sehen zu können.

Diese Erscheinung zeigt offenbar, dass die Meeresoberfläche gekrümmt ist. Denkt man sich von dem Auge des Beobachters eine gerade Linie nach irgend einem Punkte der Linie HH, Fig. 28, gezogen, welche Wasser und Himmel scheidet und welche Horizontlinie genannt wird,

Fig. 30.



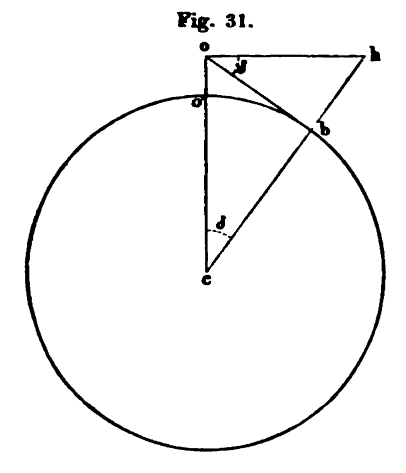
so ist diese Linie offenbar eine Tangente der krummen Meeresoberfläche, wie dies Fig. 30 erläutert, in welcher o den Standpunkt des Beobachters, oab eine Gesichtslinie bezeichnet, welche die Meeresoberfläche in a streift.

Sieht der Beobachter nichts als Himmel und Meer, so begrenzt die Scheidelinie zwischen beiden, also die rings um ihn herumlaufende Horizontlinie, welche die Gesammtheit aller Punkte enthält, in welchen die von dem Auge ausgehenden Gesichtslinien die Meeresoberfläche tangiren,

eine Fläche, welche wir den Gesichtskreis nennen wollen. Je höher nun der Beobachter sich über den Spiegel des Meeres erhebt, desto mehr wächst der von ihm übersehene Gesichtskreis, desto mehr rückt die Horizontlinie von ihm weg.

Es sei nun der Beobachter in o und ein Punkt des Meereshorizontes in b. Zieht man durch o eine wagerechte Linie oh, so dass die durch oh und ob bestimmte Ebene senkrecht steht, so bezeichnet der Winkel hob die sogenannte Depression des Horizontes oder die Kimmtiefe. Verbindet man o und b mit dem Mittelpunkte der Erde c, und verlängert cb bis zum Durchschnitt mit oh in h, so ist wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke ohb und ohc der Winkel och gleich dem Winkel hob gleich der Depression des Horizontes. Bezeichnet man nun mit o' den Punkt, in welchem die Linie oc das Meeresniveau schneidet, und setzt den Radius der Erdkugel gleich der Einheit, so wird der Bogen $o'b$ gleich der Depression. Der Bogen $o'b$ ist aber nichts Anderes als der Radius des Gesichtskreises, oder die auf dem Niveau des Meeres gemessene Entfernung des Punktes o' von der Peripherie des Kreises, den man von o aus zu übersehen vermag.

Fig. 31.



Eine Bogenminute des Erdumfanges nennt man nun eine Seemeile und dieselbe entspricht dem vierten Theil einer geographischen Meile. Der in Seemeilen ausgedrückte Radius des Gesichtskreises ist demnach gleich der in Bogenminuten ausgedrückten Depression des Horizontes.

Ist nun oo', oder die Höhe des Beobachters über dem Meere, in Rheinl. Fussen ausgedrückt, gleich h, so ergiebt die Grösse $\sqrt{h}$ genähert den Radius des Gesichtskreises in Seemeilen und die Depression in Bogenminuten.

Setzt man nämlich den Radius der Erde $= R$ und die Depression $= \delta$, so ist $cb = co . \cos\delta$, oder $R = (R + h) \cos\delta$, und

$$\cos\delta = \frac{R}{R + h}, \text{ und da } \sin\delta = \sqrt{1 - \cos^2\delta},$$

so wird auch

$$\sin\delta = \sqrt{1 - \frac{R^2}{(R + h)^2}}$$

$$= \frac{\sqrt{(R + h)^2 - R^2}}{R + h}$$

$$= \frac{\sqrt{h^2 + 2Rh}}{R + h},$$

und man hat wegen der Kleinheit von h gegen R hinreichend genau:

$$\delta . \sin 1' = \frac{\sqrt{2Rh}}{R} = \sqrt{\frac{2h}{R}}$$

$$\delta = \frac{\sqrt{2}}{\sin 1' \sqrt{R}} . \sqrt{h}.$$

Nun ist $R = 20319645{,}3$ Rh. Fuss

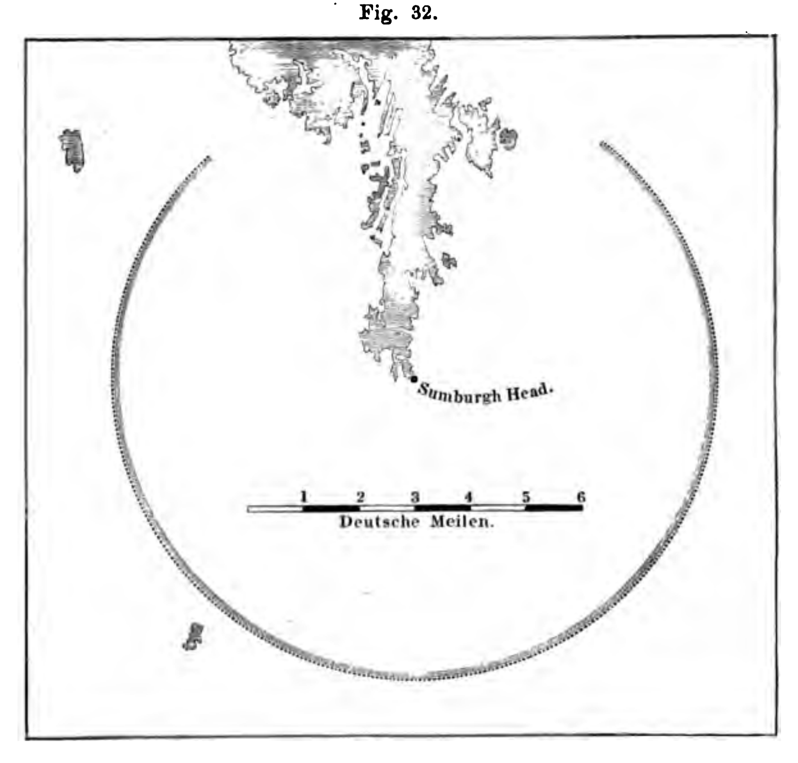
$$\sqrt{R} = 4507{,}7$$

$$\frac{\sqrt{2}}{\sin 1'} = 4861{,}7,$$

und daher $\delta = \frac{4861{,}7}{4507{,}7} \sqrt{h} = 1{,}0785 . \sqrt{h}$; oder genähert $\delta = \sqrt{h}$, worin also δ in Seemeilen resp. Bogenminuten, und h in Rheinl. Fussen ausgedrückt ist.

Fig. 32 stellt den Erleuchtungskreis des 91 m (= 890 Rheinl. F.) hohen Leuchtthurmes von Sumburgh Head (der Südspitze von Mainland,

Fig. 32.



der grössten unter den shetländischen Inseln) dar, d. h. den Kreis, innerhalb dessen von dem Verdeck eines Schiffes das Feuer jenes Leuchtthurmes sichtbar ist.

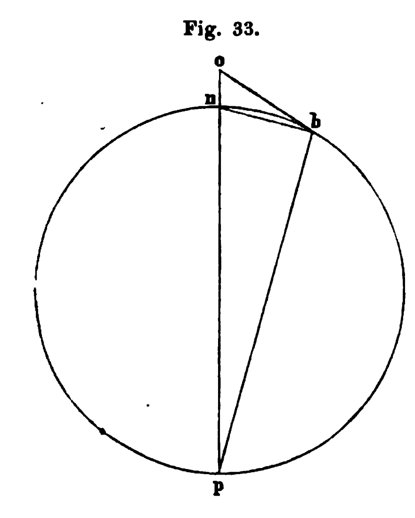
Um zu untersuchen, ob es von einem Punkte aus möglich ist, falls sich keine anderen Gegenstände dazwischen befinden, einen anderen Punkt B zu sehen, oder ob die Krümmung der Erdoberfläche die Möglichkeit verhindert, muss man für beide Punkte den Radius des Gesichtskreises berechnen. Ist die Summe beider Radien grösser als die Entfernung der beiden Punkte, so ist die Sichtbarkeit möglich, im entgegengesetzten Falle unmöglich.

Es soll z. B. untersucht werden, ob es möglich ist, vom Brocken aus den Hamburger Michaelisthurm zu sehen. Die Höhe des Brockens ist 3631 Rh. F., die der Spitze des Michaelisthurmes 435 Rh. F. über dem Meere. Wir haben

$$\sqrt{3631} = 60,26$$
$$\sqrt{435} = 20,85.$$

Die Summe, oder 81,11 Seemeilen = 20,28 geographische Meilen ist gleich der Summe der Halbmesser der beiden Gesichtskreise. Dieselbe ist kleiner, als die Entfernung der beiden Orte, welche $26^1/_2$ geographische Meilen beträgt, und es ist daher nicht möglich, den Michaelisthurm vom Brocken aus zu sehen.

Fig. 33.



Die auf jedem Punkte des Meeres in gleicher Weise und in gleichem Betrage hervortretende Depression des Horizontes deutet nun darauf hin, dass wenigstens die Meeresoberfläche kugelförmig gekrümmt sei.

Da aber die Oberfläche der Meere viel grösser ist als die der Länder, da ferner die Erhebung der Continente über den Meeresspiegel verhältnissmässig ganz unbedeutend ist, so können wir schliessen, dass die ganze Erde eine Kugel sei.

Gehen wir von dieser Annahme aus, so können wir umgekehrt aus beobachteten Werthen für den Radius des Gesichtskreises die Grösse des Erdhalbmessers berechnen. Der Kreis Fig. 33 stelle einen Durchschnitt der Erdkugel dar, so ist np ein Durchmesser derselben. o sei nun der Standpunkt des Beobachters, ob eine durch sein Auge an die Erdoberfläche gelegte Tangente, so sind die Dreiecke nob und obp einander ähnlich und man hat

$$no : ob = ob : op$$

und daraus:

$$op = \frac{ob^2}{no}.$$

Wenn die Erhebung $no = 1000'$ ist, so ist $ob = 198000'$, es ist also

$$op = \frac{198000^2}{1000} = 39204000.$$

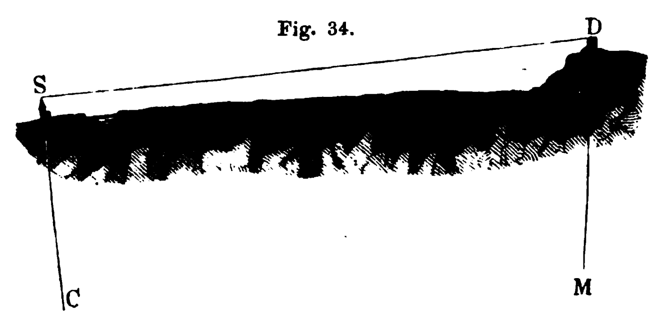
Ziehen wir davon $no = 1000$ ab, so bleibt für den Durchmesser der Erde $D = 39203000$ Fuss oder 1782 deutsche Meilen, da eine solche Meile in runder Zahl gleich 22000 Fuss ist.

Eine solche Bestimmungsweise des Erddurchmessers kann natürlich keine genauen Resultate liefern.

Sehr gut lassen sich aus geodätischen Höhenmessungen sowohl die Krümmung der Erde nachweisen, als auch ihre Dimensionen annähernd berechnen.

Wenn man nämlich an zwei möglichst weit von einander entfernten Orten, die so gelegen sind, dass man von jedem aus den anderen sehen kann, den Winkel misst, welchen an jedem dieser Orte die Verticale desselben mit der beide Orte verbindenden Visirlinie macht, so beträgt die Summe dieser Winkel nicht 180°, wie es sein müsste, wenn die Verticalen

Fig. 34.



beider Orte parallel wären. Aus der Differenz dieser Winkelsumme von 180° lässt sich der Halbmesser der Erde berechnen, wenn die Entfernung beider Orte bekannt ist.

Ein Beispiel mag dies erläutern. Nach den vom Obristen Klose im Jahre 1833 mit einem achtzölligen Höhenkreise gemachten Messungen macht die Visirlinie SD vom Strassburger Münster nach dem Rande des Durlacher Wartthurms mit der Verticalen SC einen Winkel von 89° 48′, während der Winkel SDM gleich 89° 35′ gefunden wurde. Da die Summe dieser beiden Winkel, 179° 23′, kleiner ist als 180°, so sind also die Linien SC und DM nicht parallel, sondern sie convergiren, und der Winkel, unter welchem sie im Mittelpunkte der Erde (vollkommene Kugelgestalt vorausgesetzt) zusammentreffen, ist 180° — (179° 23′) = 37′.

Da nun aber die Entfernung des Strassburger Münsters vom Durlacher Wartthurme 71058 m beträgt, so hat man, um zu berechnen, wie lang $^1/_4$ des Erdumfanges ist, die Proportion:

$$37' : 71058^m = 90^0 : x$$

oder:

$$37' : 71058^m = 5400' : x,$$

also

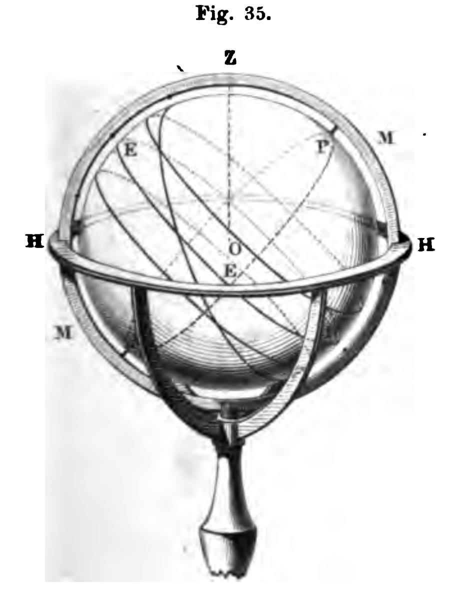
$$x = 10370000 \text{ Meter.}$$

Demnach würde sich die Länge des Erdhalbmessers gleich 900 Meilen ergeben. Die Sicherheit der Bestimmung wird aber sehr beeinträchtigt durch die atmosphärische Strahlenbrechung, von welcher später die Rede sein soll.

Weitere Beweise für die Kugelgestalt der Erde liefern die sogenannten Reisen um die Welt und die Gestalt des Erdschattens, wie man sie bei Mondfinsternissen zu beobachten Gelegenheit hat; am entschiedensten aber ergiebt sie sich, wenn man mit Aufmerksamkeit den Anblick des gestirnten Himmels in verschiedenen Gegenden vergleicht.

Bestimmung der Kugelgestalt durch astronomische 15
Beobachtungen. Im vorigen Capitel wurde bereits angeführt, dass für das mittlere Deutschland die Weltaxe ungefähr einen Winkel von 50 Graden und also die Ebene des Aequators einen Winkel von 40 Graden mit der Ebene des Horizontes mache. Das ändert sich nun, sobald man nach Norden oder nach Süden reist.

Fig. 35.



Je weiter man nach Norden geht, desto mehr steigt der Polarstern in die Höhe, während der Himmelsäquator sich in gleichem Maasse gegen die Ebene des Horizontes senkt. Es nimmt also die Zahl der Sterne zu, welche nicht auf- und nicht untergehen; dagegen wird aber auch ein immer grösserer Theil der südlichen Hälfte der Himmelskugel ganz unsichtbar, der Gürtel der Sterne, welche auf- und untergehen, wird immer schmäler.

Am besten kann man sich diese Veränderungen anschaulich machen, wenn man einen Himmelsglobus zur Hand nimmt. Fig. 35 zeigt einen Himmelsglobus in derjenigen Stellung, wie sie den Erscheinungen des gestirnten Himmels im mittleren Deutschland entspricht; der Nordpol des Himmels steht 50^0 über der Ebene des Horizontes, mit welcher der Himmelsäquator einen Winkel von 40^0 macht.

Soll der Himmelsglobus die Erscheinungen nördlicher gelegener Gegenden darstellen, so muss man den Messingring M so drehen, dass die Axe PQ sich mehr und mehr der Verticalen nähert. In der Stellung

Fig. 36 z. B. zeigt der Himmelsglobus die Erscheinungen des gestirnten Himmels, wie sie ungefähr an den nördlichsten Grenzen Europas wahrgenommen werden. Die Zenithdistanz des Polarsternes beträgt keine 20⁰ mehr, die Plejaden gehen nicht mehr unter, sondern man sieht ihre obere und ihre untere Culmination. Sirius und Spica erheben sich am südlichen Himmel kaum noch über den Horizont, während Antares im Scorpion und Fomalhaut im südlichen Fisch gar nicht mehr sichtbar werden.

Könnte man vom Nordcap aus noch so weit nach Norden fortgehen, wie das Nordcap von Frankfurt am Main liegt, so würde man zu einem Punkte kommen, wo der Nordpol des Himmels im Zenith liegt und der Himmelsäquator in die Ebene des Horizontes fällt, wie es Fig. 37 darstellt.

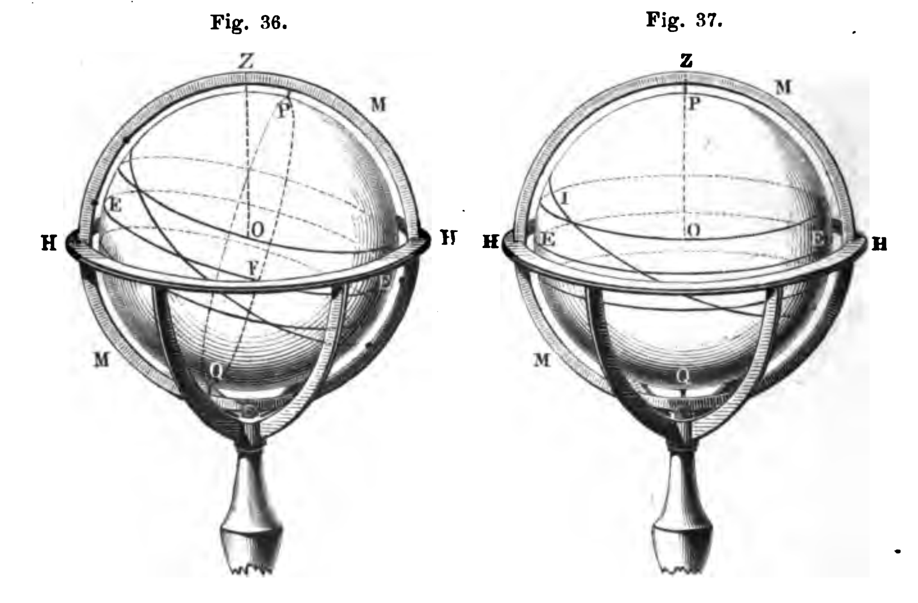


Fig. 36. Fig. 37.

Hier ist nur noch die nördliche Hemisphäre des Himmels sichtbar. Alle sichtbaren Sterne beschreiben während ihrer täglichen Bewegung Kreise, welche mit dem Horizont parallel sind, die Höhe eines Sternes bleibt also stets unverändert.

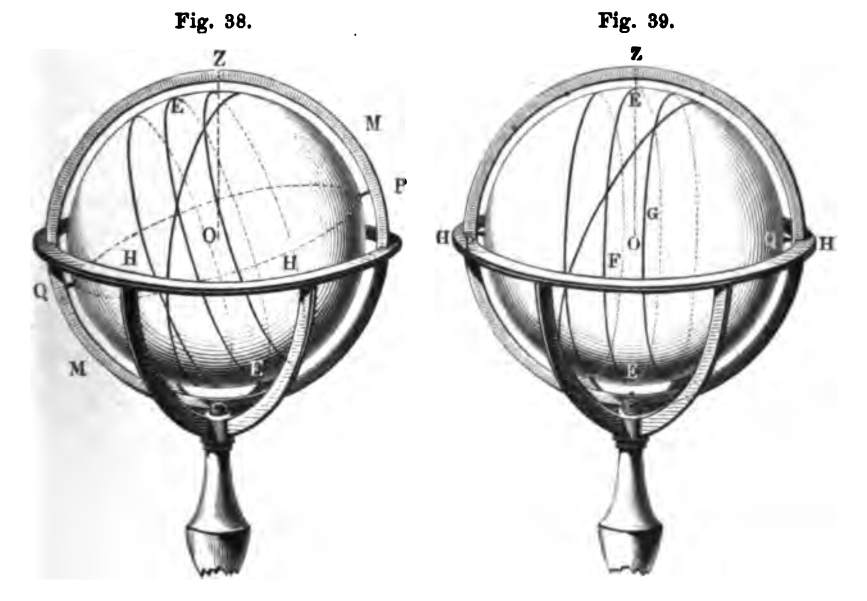
Verfolgen wir nun auch die Veränderungen, welche der gestirnte Himmel darbieten wird, wenn man vom mittleren Deutschland aus nach Süden geht. Der Nordpol des Himmels senkt sich immer mehr und immer kleiner wird der Kreis der Sterne, welche nicht auf- und nicht untergehen. Auf den Inseln des Grünen Vorgebirges z. B. ist der Polarstern nur noch 15⁰ über dem Horizont.

Das Sternbild des grossen Bären gehört hier nicht mehr zu denen, welche stets über dem Horizont bleiben; dagegen bleibt auch nur ein

kleiner Theil des südlichen Himmels unsichtbar, und das schöne Sternbild des Kreuzes glänzt am südlichen Himmel. Fig. 38 stellt ungefähr die Stellung der Himmelskugel gegen den Horizont dar, wie sie auf den Inseln des Grünen Vorgebirges beobachtet wird.

Noch weiter nach Süden fortschreitend, gelangt man endlich an Orte, wo der Himmelsäquator durch das Zenith geht, Fig. 39, wie dies z. B. in Quito der Fall ist. Nach Norden hin sieht man den Nordpol, nach Süden hin den Südpol des Himmels im Horizont. Alle Parallelkreise des Himmels stehen rechtwinklig auf der Ebene des Horizontes. Kein Stern

Fig. 38. Fig. 39.



des Himmels bleibt beständig über, keiner beständig unter dem Horizont, für alle Sterne ist der Tagbogen dem Nachtbogen gleich.

Setzt man den Weg nach Süden hin immer noch weiter fort, so verschwindet der Nordpol des Himmels unter dem Horizont, der Südpol dagegen steigt höher und höher.

Aus diesen eben besprochenen Erscheinungen geht hervor, dass die Erde in der Richtung von Norden nach Süden hin gekrümmt sein muss, und zwar ziemlich gleichförmig; denn für je 111 km, um welche man gerade nach Norden hin fortschreitet, erhebt sich der Polarstern ungefähr um 1⁰ mehr über den Horizont.

Ebenso ist aber auch die Erde in der Richtung von Ost nach West gekrümmt. Reist man gerade nach Westen hin, so ändert sich zwar der Anblick des gestirnten Himmels durchaus nicht, aber die Zeit des Auf- und Unterganges der Gestirne, die Zeit ihrer Culmination ist nicht dieselbe. In demselben Moment, in welchem die Sonne in London aufgeht, ist sie zu Berlin schon bald eine Stunde lang über dem Horizont; und

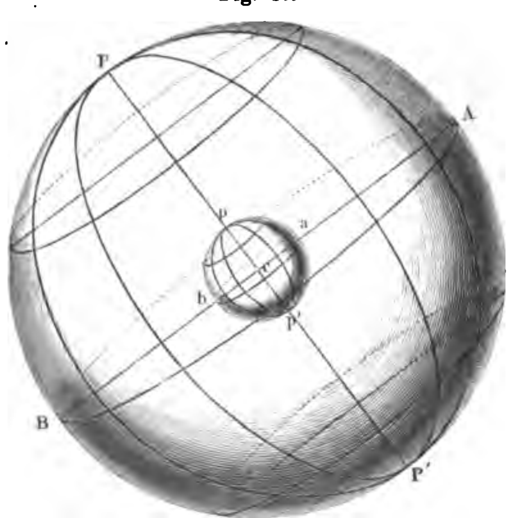
die Zeit des Mittags von Quito fällt mit der Zeit der Mitternacht von Sumatra zusammen.

Von der Richtigkeit dieser Behauptung kann sich jeder Reisende mit Hülfe einer guten Uhr überzeugen. Nehmen wir an, die Uhr sei nach Berliner Zeit gerichtet, d. h. sie gehe so, dass sie für Berlin stets die richtige Zeit angiebt, so wird diese Uhr, wenn man dieselbe, ohne sie zu verstellen, an westlicher gelegene Orte bringt, stets vor der Uhr dieser Orte vorgehen, und zwar um so mehr, je weiter man nach Westen fortschreitet. Die nach Berliner Zeit gehende Uhr geht in London nahezu 1, in Newyork $5^1/_2$ Stunden vor; und zwar beträgt für den Aequator die hieraus sich ergebende Krümmung ebenfalls sehr nahe einen Grad für 111 km.

Fassen wir dies Alles zusammen, so ergiebt sich, dass die Erde überall in gleicher Weise von Nord nach Süd und von Ost nach West gekrümmt, kurz, dass sie eine Kugel ist, und zwar muss diese Kugel frei im Weltraume schweben, weil es keine Stelle des Himmels giebt, die nicht von den entsprechenden Orten der Erde aus frei sichtbar wäre.

16 **Geographische Länge und Breite.** Fig. 40 stellt die mitten in der scheinbaren Himmelskugel schwebend gedachte Erdkugel dar, wobei

Fig. 40.



jedoch zu bedenken ist, dass die Dimensionen der Erdkugel als verschwindend angesehen werden müssen im Vergleich zu denen der Himmelskugel, was man in der Zeichnung freilich nicht richtig darstellen kann. Die Weltaxe PP' geht mitten durch die Erdkugel hindurch und trifft ihre Oberfläche in zwei Punkten pp', welche die Pole der Erde sind; p ist der Nordpol, p' ist der Südpol der Erde.

Die Ebene des Himmelsäquators schneidet die Erde in einem Kreise *bca*, welcher der Aequator der Erde ist.

Denken wir uns an irgend eine Stelle der Erdoberfläche eine Berührungsebene gelegt, so ist diese der scheinbare Horizont, d. h. der Horizont, welcher dem auf dieser Stelle der Erdoberfläche befindlichen Beobachter in der That die sichtbare Hälfte der Himmelskugel begrenzt. Eine parallel mit dem scheinbaren Horizont durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene nennt man dagegen den wahren Horizont. Es ist klar, dass ein auf dem Nordpol der Erde stehender Beobachter den Nordpol des Himmels im Zenith hat, dass dagegen für einen auf dem Erdäquator stehenden Beobachter ein Punkt des Himmelsäquators das Zenith bildet, kurz, dass bei Veränderung des Standpunktes auf der Erde der Anblick des Himmels sich in der Weise ändern müsse, wie wir es im vorigen Paragraphen gesehen haben.

Den Stundenkreisen und Parallelkreisen auf der Himmelskugel entsprechend denkt man sich auch auf der Erdkugel ein System von Kreisen gezogen. — Diejenigen grössten Kreise, welche durch die beiden Pole p und p' der Erde gehen, welche also den Stundenkreisen der Himmelskugel entsprechen, werden Längenkreise, Meridiankreise oder nur Meridiane genannt. Die mit dem Aequator parallelen Kreise heissen Parallelkreise oder Breitenkreise.

Mittelst dieser Kreise findet die Ortsbestimmung auf der Oberfläche der Erdkugel ganz in derselben Weise statt, wie die Ortsbestimmung am Himmel, durch Declination und Rectascension. Was für die Himmelskugel die Declination ist, das ist die geographische Breite für die Erdkugel; die geographische Länge hat für die Erdkugel eine ähnliche Bedeutung, wie die Rectascension für die Himmelskugel.

Die geographische Breite eines Ortes ist der auf seinem Meridian gemessene Bogen von dem Orte bis zum Erdäquator. So ist z. B. die geographische Breite von Freiburg 48°, Freiburg ist also noch um 42 Breitegrade vom Nordpol der Erde entfernt, da der Bogen vom Pol bis zum Aequator 90° beträgt.

Die geographische Länge eines Ortes ist der auf dem Aequator gezählte Winkel oder Bogen, welcher zwischen dem Meridian des Ortes und irgend einem bestimmten zum Ausgangspunkte der Zählung gewählten Meridian liegt.

Gewöhnlich zählte man bisher auf deutschen Landkarten die Längen von demjenigen Meridian, welcher genau 20° westlich von Paris liegt und nach der Insel Ferro benannt wird, bei welcher er nahe vorbeigeht.

So ist denn die Lage von Freiburg bestimmt, wenn man sagt, es liege in einer nördlichen Breite von 48° und seine geographische Länge sei $25\frac{1}{2}°$ östlich von Ferro.

Die Engländer nehmen den Meridian von Greenwich, die Franzosen den von Paris zum Ausgangspunkte für die Zählung der geographischen

Längen. In neuerer Zeit wird auch auf deutschen Landkarten die geographische Länge meist nach Greenwich gerechnet.

17 Bestimmung der geographischen Breite eines Ortes.

Fig. 41 stelle die Erdkugel dar. NS sei die Erdaxe, EE' der zur geraden Linie verkürzt erscheinende Erdäquator; es sei ferner A irgend ein Ort auf der Erdoberfläche, so ist der Bogen EA die geographische Breite desselben. Denken wir uns nun von A aus eine gerade Linie AN' parallel mit der Erdaxe gezogen, so trifft die Verlängerung dieser Linie gerade den Himmelspol (da ja die Dimensionen der Erde verschwindend klein sind gegen die des Himmelsraumes). Der Winkel aber, welchen AN' mit AH, der Ebene des Horizontes von A, macht, ist offenbar gleich dem Winkel EOA, oder mit anderen Worten: die geographische Breite eines Ortes ist seiner Polhöhe gleich.

Fig. 41.

Um die geographische Breite eines Ortes zu ermitteln, hat man also nur zu messen, um wie viel Grade der an diesem Orte sichtbare Himmelspol über der Ebene des Horizontes steht.

Da aber der Himmelspol nicht durch einen bestimmten Stern bezeichnet ist, so kann man die Polhöhe nicht durch eine einzige directe Messung finden; sie ergiebt sich aber sehr einfach aus der Beobachtung der oberen und unteren Culmination der Circumpolarsterne. Hat man die Höhe eines der Circumpolarsterne zur Zeit der oberen und dann wieder zur Zeit der unteren Culmination gemessen, so hat man aus diesen beiden Winkeln nur das Mittel zu nehmen, um die Polhöhe zu finden.

Man hat z. B. zu Freiburg gefunden:

Höhe des Polarsterns zur Zeit der unteren Culmination $46^0\ 32'$

" " " " " " oberen " $49^0\ 28'$,

so ergiebt sich daraus die Polhöhe von Freiburg gleich 48^0.

An Orten, wo die Localitäten oder auch die Einrichtung der Instrumente die Beobachtung der Circumpolarsterne nicht zulassen, kann man auch aus der Höhe eines anderen Sternes zur Zeit seiner oberen Culmination auf die geographische Breite des Beobachtungsortes schliessen, da ja die Declination, aller helleren Sterne wenigstens, durch genaue Messungen auf den ersten Sternwarten ein- für allemal bekannt ist (Cap. I, §. 11). Beobachtet man nun die Höhe eines südlich vom Zenith culminirenden Sternes zur Zeit seiner Culmination, so hat man von derselben nur die Declination des Sternes abzuziehen (oder zu addiren, wenn die Declination eine südliche ist), um zu erfahren, welchen Winkel der

Himmelsäquator mit der Ebene des Horizontes macht. Dieser Winkel ist aber gleich der Zenithdistanz des Himmelspols und ergänzt also die Polhöhe (also auch die geographische Breite) zu 90°.

Bezeichnen wir mit d die Declination, mit h die beobachtete Culminationshöhe eines Sternes, so macht also der Himmelsäquator mit dem Horizont des Beobachtungsortes einen Winkel

$$p = h \mp d,$$

wo das obere Zeichen bei nördlicher Declination zu setzen ist. Die geographische Breite b des Ortes ist aber $90^0 - p$, also

$$b = 90^0 - h \pm d.$$

Man hat z. B. zu Freiburg die Höhe des Procyon (α Canis minoris), dessen nördliche Declination $5^0\ 30'$ ist, zur Zeit seiner Culmination gleich $47^0\ 30'$ gefunden und daraus ergiebt sich 42^0 als Werth des Winkels, welchen der Himmelsäquator mit dem Horizont von Freiburg macht, die geographische Breite von Freiburg ist also 48^0.

Bestimmung der geographischen Länge. Nach der obigen 18
Definition wird die geographische Länge eines Ortes durch den Winkel gemessen, welchen der Meridian desselben mit demjenigen Meridian macht, den man zum Nullpunkte der geographischen Länge gewählt hat.

Um den Unterschied der geographischen Länge zweier Orte zu ermitteln, muss man bestimmen, um wie viel die Culmination eines und desselben Sternes an dem einen Orte später eintritt als am anderen. Diese Zeitdifferenz hat man nur mit 15 zu multipliciren, um den gesuchten Längenunterschied in Bogenmaass ausgedrückt zu erhalten.

Die Zeitdifferenz erhält man aber durch die Vergleichung zweier Uhren, von denen die eine nach der Zeit des ersten, die andere nach der Zeit des zweiten Ortes regulirt ist. Eine solche Vergleichung kann man aber nach verschiedenen Methoden ausführen.

Sind die beiden Orte, deren Längenunterschied man ermitteln will, nicht gar zu weit von einander entfernt, so wählt man zwischen beiden Stationen einen Punkt, etwa eine Bergspitze, einen Thurm u. s. w., welcher von beiden Orten aus zugleich gesehen werden kann, auf welchem dann ein vorher verabredetes Signal, etwa durch Anzünden einer kleinen Menge Pulver, gegeben wird. Die Beobachter an den beiden Stationen, welche den Gang ihrer Uhren durch astronomische Beobachtungen regulirt haben, notiren die Zeit, in welcher sie das Signal wahrnehmen, und aus der Vergleichung der notirten Zeitmomente ergiebt sich dann der verlangte Zeit- und Längenunterschied.

Wenn die beiden Orte durch einen elektrischen Telegraphen mit einander verbunden sind, so kann man sich desselben zur Bestimmung der Längenunterschiede bedienen, da die Geschwindigkeit des galvanischen Stromes so gross ist, dass man die Fortpflanzung des Signals von der einen Station zur anderen als momentan betrachten darf. Der Beobachter der einen Station notirt sich die Uhrzeit, in welcher er

das elektrische Signal absendet, der andere beobachtet die Uhrzeit, in welcher er es wahrnimmt. Die Differenz dieser Uhrzeiten giebt den Längenunterschied.

Nach dieser Methode wurden auch am 13. und am 29. August 1852 Morgens zwischen 6 und 7 Uhr Versuche zur Bestimmung des Längenunterschiedes von Frankfurt a. M. und Berlin gemacht. Das Signal bestand in einem einfachen Drucke auf den Schlüssel des Telegraphen und wurde an dem anderen Ende der Telegraphenlinie als ein einfaches Knacken von nicht messbarer Dauer gehört. Bezeichnen wir mit t_b die Berliner Zeit für den Moment eines solchen Signals, mit t_f die gleichzeitige Frankfurter Zeit, so ergab sich für den fraglichen Längenunterschied beider Orte im Durchschnitt aus allen zu Berlin gegebenen Signalen (Jahresbericht des physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. für 1852 und 1853):

$$D = t_b - t_f = 18^m\,51{,}89^s$$

und das Mittel aus allen Frankfurter Signalen

$$D' = t_b - t_f = 18^m\,51{,}77^s.$$

Wenn eine messbare Zeit c zwischen der Abgabe und der Ankunft eines Signals verstriche, so hätte man, wenn sich t_b und t_f auf die Momente der Zeichengebung beziehen, die Differenz der Uhrzeiten des Abgangs und der Ankunft für die Berliner Signale

$$D = t_b - (t_f + c)$$

und für die Frankfurter Signale

$$D' = (t_b = c) - t_f.$$

Es müsste also die Differenz D' für die Frankfurter Signale grösser sein als die entsprechende Differenz D für die Berliner Signale. Da dies nun nicht der Fall ist, so liefern diese Versuche zugleich den Beweis, dass die Zeit, in welcher sich der galvanische Strom von Berlin nach Frankfurt fortpflanzt, in der That verschwindend klein ist.

Die beschriebene Methode ist natürlich nur dann anwendbar, wenn die beiden Orte durch einen Telegraphendraht verbunden sind. Ist dies nicht der Fall, so muss man statt der irdischen Signale himmlische anwenden, d. h. man beobachtet den Moment, in welchem gewisse Erscheinungen am Himmel, die wir später noch besprechen werden, wie Sternbedeckungen, Verfinsterung von Jupiterstrabanten u. s. w., eintreten. Den Zeitpunkt, in welchem diese Erscheinungen an irgend einer der Hauptsternwarten eintreten müssen, erfährt man aus den astronomischen Jahrbüchern, welche von den Astronomen einiger Observatorien herausgegeben werden und welche die für einige Jahre schon vorausberechneten Momente dieser Erscheinungen enthalten.

So enthält z. B. das Berliner astronomische Jahrbuch für 1853 die Angabe, dass am 20. Mai dieses Jahres eine Bedeckung des Sternes $\varkappa$ Virginis durch den Mond stattfinde, und zwar müsste der Stern für Berlin um $13^h\,16{,}4^m$ am östlichen Mondrande eintreten. Lorey beobachtete den Eintritt dieses Sternes zu Frankfurt a. M. an demselben

Tage um 12^h $56{,}2^m$; demnach betrüge der Längenunterschied zwischen Berlin und Frankfurt 20^m 12^s. An dieses Resultat sind aber noch Correctionen anzubringen, welche hier nicht besprochen werden können.

Am einfachsten ergeben sich die Längendifferenzen durch Anwendung guter, gleichförmig gehender Chronometer, welche man von dem einen Orte an den anderen mit hinnimmt. Diese Methode wird vorzugsweise zur Längenbestimmung auf der See angewendet. Vor Antritt der Reise, oder beim Anlaufen einer Station, deren geographische Länge bekannt ist, wird ermittelt, um wie viel das Chronometer gegen die mittlere Zeit irgend eines Normalortes, z. B. der Greenwicher Sternwarte, unrichtig zeigt, und wie viel es täglich gegen mittlere Zeit gewinnt oder verliert. Dadurch kommt man in den Stand, für längere Zeit nachher den Fehler des Chronometers gegen Greenwicher mittlere Zeit zu kennen. Vergleicht man nun die durch Gestirnbeobachtungen gefundene mittlere Zeit des Ortes, an dem man sich befindet, mit derjenigen Greenwicher Zeit, welche gleichzeitig nach dem Chronometer stattfindet, so entspricht die gefundene Differenz der Längendifferenz des Ortes von Greenwich.

Eine nach dieser Methode gemachte Längenbestimmung wird natürlich um so genauer ausfallen, je regelmässiger und genauer der Gang der Uhr ist. Wo es auf sehr grosse Genauigkeit ankommt, wendet man gleichzeitig mehrere Chronometer an und nimmt das Mittel aus allen einzelnen Bestimmungen; so wurde im Jahre 1824 die Länge von Altona, Helgoland und Bremen in Beziehung auf die Sternwarte von Greenwich durch 35 Chronometer, mit welchen man sechsmal die Reise über das Meer machte, und im Jahre 1843 wurde in gleicher Weise der Längenunterschied der Sternwarte von Pulkowa bei Petersburg und der von Greenwich mit Hülfe von 68 vorzüglichen Chronometern bestimmt.

Wie man die Zeit des Beobachtungsortes selbst ermittelt, werden wir später sehen.

Die umstehende Tabelle enthält die Länge und Breite einiger Sternwarten.

Name des Ortes	Geographische Breite + nördlich — südlich	Länge von Berlin in Zeit + westlich — östlich	Oestliche Länge von Greenwich in Bogen
Berlin	+ 52° 30′ 16,7″	0h 0m 0,0″	13° 23′ 43,6″
Bonn	+ 50 43 45,0	+ 0 25 11,6	7 5 49,4
Breslau	+ 51 6 56,5	— 0 14 34,0	17 2 13,5
Brüssel	+ 50 51 10,7	+ 0 36 6,2	4 22 10,5
Cap d. g. Hoffn.	— 33 56 3,2	— 0 20 19,8	18 28 41,1
Christiania	+ 59 54 43,7	+ 0 10 41,1	10 43 27,0
Edinburgh	+ 55 57 23,2	+ 1 6 18,0	356 49 14,2
Genf	+ 46 11 58,8	+ 0 28 58,2	6 9 11,4
Göttingen	+ 51 31 47,9	+ 0 13 48,5	9 56 36,0
Greenwich	+ 51 28 38,1	+ 0 53 34,9	0 0 0,0
Hamburg	+ 53 33 7,0	+ 0 13 41,1	9 58 27,0
Kiel	+ 54 20 28,6	+ 0 12 59,2	10 8 56,1
Königsberg	+ 54 42 50,6	— 0 28 24,2	20 29 46,5
Kopenhagen	+ 55 41 12,9	+ 0 3 16,0	12 34 43,8
Leiden	+ 52 9 20,2	+ 0 35 38,6	4 29 5,2
Leipzig	+ 51 20 6,3	+ 0 4 0,9	12 23 30,3
Madrid	+ 40 24 29,7	+ 1 8 20,0	356 18 44,2
Mailand	+ 45 27 59,4	+ 0 16 48,9	9 11 29,6
Melbourne	— 37 49 53,1	— 8 46 19,3	144 58 32,5
München	+ 48 8 45,5	+ 0 7 8,8	11 36 31,8
Paris	+ 48 50 11,2	+ 0 44 13,9	2 20 15,4
Pulkowa	+ 59 46 18,7	— 1 7 43,7	30 19 39,8
Rio de Janeiro	— 22 54 23,7	+ 3 46 16,3	316 49 38,8
Rom	+ 41 53 53,6	+ 0 3 39,4	12 28 53,2
Santiago (Chile)	— 33 26 42,0	+ 5 36 21,2	289 18 25,5
Stockholm	+ 59 20 34,0	— 0 18 39,1	18 3 29,7
Strassburg	+ 48 35 0,2	+ 0 22 30,2	7 46 9,9
Washington	+ 38 53 38,9	+ 6 1 47,0	282 56 58,6
Wien	+ 48 13 55,4	— 0 11 46,6	16 20 22,4
Zürich	+ 47 22 40,0	+ 0 19 22,5	8 33 6,0

19 **Abplattung der Erde.** Wenn die Erde eine vollständige Kugel wäre, so müsste die Entfernung zweier auf demselben Meridian liegender Punkte, von denen der eine genau 1° nördlicher liegt als der andere, für alle Theile des Meridians genau dieselbe sein; der Bogen vom Aequa-

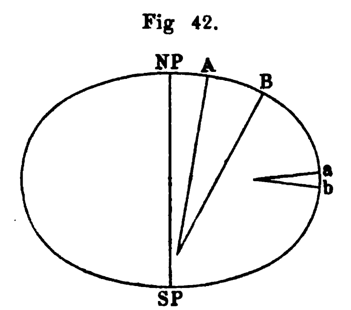
tor bis zu 1° nördlicher Breite müsste also genau so lang sein, wie der Bogen vom 89sten Breitengrade bis zum Pol.

Dies ist nun in der That nicht der Fall. Genaue Gradmessungen, welche in verschiedenen Gegenden der Erde vorgenommen wurden, haben gezeigt, dass die Länge eines Breitengrades mit der Entfernung vom Aequator zunimmt, wie man aus folgender Tabelle ersieht.

Namen des Landes	Mittlere Breite	Länge eines Breitengrades
Peru	1° 31′	56728,5 Toisen
Indien	12 32	56795,9 „
Frankreich	46 8	57024,6 „
England	52 2	57066,1 „
Lappland	66 20	57438,0 „

Untersuchen wir zunächst, was aus diesen Zahlen folgt. Bei zwei Kreisen von verschiedener Grösse ist offenbar die lineare Grösse eines Grades der Peripherie verschieden, und zwar bei dem grösseren Kreise grösser als bei dem kleineren im Verhältniss der Halbmesser. Da nun auf der Erde die lineare Grösse eines Grades des Meridians in der Nähe der Pole grösser ist, als in der Nähe des Aequators, so entspricht ein Stück des Meridians in der Nähe des Poles (AB, Fig. 42) einem grösseren Kreise, als ein dieselbe Anzahl von Graden enthaltendes Stück ab in der Nähe des Aequators. Es folgt daraus, dass die Meridiane in der Nähe des Aequators stärker gekrümmt sein müssen als an den Polen.

Fig 42.



Das Wesentlichste der geodätischen Operationen, durch welche dergleichen Gradmessungen ausgeführt werden, soll im nächsten Paragraphen besprochen werden.

Newton hatte die Abplattung der Erde aus theoretischen Gründen abgeleitet; allein es fehlte an genauen Gradmessungen, welche Newton's Behauptungen hätten bestätigen können, bis die französische Akademie der Wissenschaften gegen die Mitte des vorigen Jahrhunderts eine wissenschaftliche Expedition nach Peru und eine andere nach Lappland veranlasste, um daselbst genaue Gradmessungen anzustellen. Die Gradmessung in Peru wurde von Bouguer und Condamine, die in Lappland von Maupertuis, Clairaut und Outhier ausgeführt.

Die Resultate dieser Messungen setzten die Abplattung der Erde ausser Zweifel.

Als gegen Ende des vorigen Jahrhunderts der Nationalconvent in Frankreich ein neues Maass- und Gewichtssystem einführen wollte, entschied man sich dahin, dass die neue Längeneinheit in einem einfachen Verhältnisse zur Länge eines Erdmeridians stehen sollte, und verordnete deshalb, dass eine neue möglichst genaue Gradmessung ausgeführt werden sollte, mit welcher Delambre und Méchain beauftragt wurden. Sie führten die Messung des Meridianbogens von Dünkirchen bis Barcelona aus. Später ist auf demselben Meridian noch der Bogen von Barcelona bis Formentera (durch Biot und Arago) und von Dünkirchen bis Greenwich gemessen worden. Auch diese Messungen haben gezeigt, dass in der That die Länge eines Breitengrades nach Norden hin zunimmt. Zwischen Formentera und Montjouy ist die Länge eines Breitengrades 56955,4 Toisen, zwischen Dünkirchen und Greenwich ist sie 57097,6 Toisen.

Nachdem Delambre und Méchain ihre Messung beendigt hatten, wurde eine Commission von Gelehrten ernannt, um auf dieselbe das neue Maasssystem zu gründen. Die Commission combinirte diese in Frankreich ausgeführte Gradmessung mit den früher in Peru und Lappland erhaltenen Resultaten und folgerte daraus, dass der Erdmeridian eine Ellipse sei, deren Abplattung [1] $^1/_{292}$ betrüge und deren vierter Theil (der Bogen vom Aequator bis zum Pol) 5130074 Toisen lang sei. Der zehnmillionste Theil des Erdmeridianquadranten wurde als Einheit des Längenmaasses angenommen und Meter genannt.

Das Meter wurde also zu 0,5130074 Toisen oder zu 3 Fuss 11,296 Linien Pariser Maass festgesetzt.

Folgendes sind die Resultate der von verschiedenen neueren Berechnern gefundenen Werthe für die Dimensionen der Erde:

	Halbe grosse Axe	Halbe kleine Axe	Abplattung	Meridian-Quadrant
Airy 1830	6377491m	6356184m	$\frac{1}{299,33}$	1000976m
Bessel 1841	6377397	6356079	$\frac{1}{299,15}$	1000856
Schubert 1861	6378547	6356011	$\frac{1}{283,03}$	1001708
Fischer 1868	6378338	6356230	$\frac{1}{288,50}$	1001714
Clarke 1880	6378249	6356513	$\frac{1}{293,47}$	1001869

[1]) Bezeichnet a die grosse Axe der Ellipse, b die kleine, so ist die Abplattung $= \frac{a-b}{a}$.

Nach der neuesten Berechnung würde also das Meter, dessen Länge zu 443,296 Pariser Linien festgesetzt ist, um 0,001869 m, oder nahezu um 2 mm zu kurz sein; man hat aber mit Recht davon abgesehen, eine Aenderung der Länge des Meters anzunehmen, zumal da es zweifelhaft geworden ist, ob die Erde ein ganz regelmässiges Rotationsellipsoid ist, und alle Meridianquadranten von gleicher Länge sind.

Um sich eine deutliche Vorstellung von der Abplattung der Erde zu machen, denke man sich ein Umdrehungellipsoid, dessen Aequatorealdurchmesser 1 m beträgt; es würde dann der Polardurchmesser, also die Umdrehungsaxe, ungefähr um 3 mm kürzer sein müssen, wenn dieser Körper dem Erdellipsoid ähnlich sein sollte. Man begreift wohl, dass eine solche Abplattung dem blossen Auge ganz unmerklich ist und dass genaue Messungen nöthig sind, um sie nachzuweisen.

Bedenkt man, dass der Gipfel des höchsten Berges der Erde, des Gaurisankar, nur 8840 m über der Meeresfläche liegt und dass der Chimborazo nur 6530 m hoch ist, so sieht man leicht, dass die Erhebungen der mächtigsten Gebirge kaum in Betracht kommen können im Vergleich zu den Dimensionen der Erde. Auf einem Erdglobus von 1 m Durchmesser würden die Gebirgszüge des Himalaya in Asien und der Andes von Südamerika noch nicht die Höhe von 1 mm erreichen, wenn das richtige Grössenverhältniss eingehalten werden sollte.

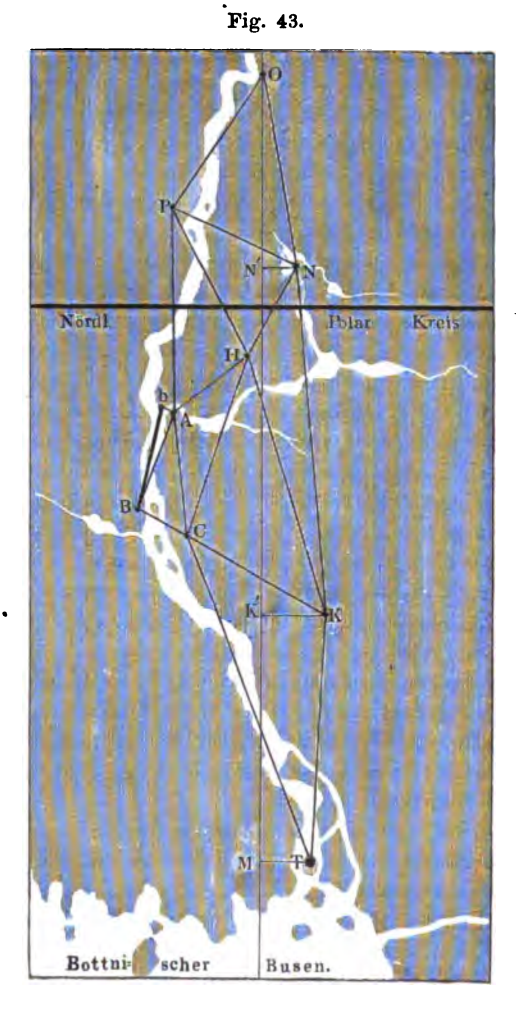
Gradmessungen. Um die Dimensionen der Erdkugel zu erfahren, 20
muss man die Länge eines Breitengrades ermitteln, d. h. man muss bestimmen, wie gross der nach irgend einem Längenmaass gemessene Abstand zweier Orte desselben Meridians ist, von welchem der eine um einen Grad nördlicher liegt als der andere.

Eine solche Länge lässt sich nun nicht unmittelbar messen, und deshalb muss hier dasselbe Verfahren befolgt werden, welches überhaupt zur Vermessung grösserer Länderstrecken in Anwendung gebracht wird. Man denkt sich nämlich eine Reihe ausgezeichneter Punkte (Bergspitzen, Thürme u. s. w.) durch Visirlinien verbunden und so das ganze Land mit einem Dreiecksnetz bedeckt. Wenn man nun von diesem ganzen Dreiecksnetz nur die Länge einer einzigen Linie, der Basis, ausserdem aber die sämmtlichen Winkel der einzelnen Dreiecke gemessen hat, so kann man die Länge sämmtlicher Dreiecksseiten, also auch den Längenabstand irgend zweier Punkte dieses Dreiecksnetzes berechnen.

So ist z. B. Fig. 43 (a. f. S.) das Bild eines von Maupertuis in Lappland gemessenen Dreiecksnetzes, dessen nördlichster Punkt O die Spitze eines Berges Kittis, der südlichste T aber der Kirchthurm von Torneå am nördlichen Ende des Bottnischen Meerbusens ist.

Die Basis bB dieses Dreiecksnetzes wurde auf dem Eise des Torneåflusses gemessen und gleich 7407 Toisen gefunden. An diese Basis lehnte sich eine Reihe von Dreiecken an, in welchen sämmtliche Winkel, aber keine weitere Seite mehr gemessen wurde. Man fand

Fig. 43.



im Dreieck	den Winkel
BbA	bei $B = 9^0\ 30'$ „ $b = 77^0\ 32'$
ABC	bei $B = 102^0\ 42'$ „ $A = 30^0\ 37'$
AHC	bei $A = 112^0\ 21'$ „ $C = 30^0\ 57'$
AHP	bei $H = 94^0\ 54'$ „ $A = 53^0\ 46'$
PNH	bei $P = 37^0\ 22'$ „ $H = 49^0\ 13'$
PNO	bei $P = 87^0\ 52'$ „ $N = 51^0\ 53$
HCK	bei $C = 100^0\ 10'$ „ $H = 36^0\ 5'$
KTC	bei $C = 37^0\ 9'$ „ $K = 118^0\ 28'$

Die gemessenen Winkel sind hier absichtlich nur auf Minuten genau angegeben, weil es sich hier ja nur darum handelt, die Methode der Gradmessungen anschaulich zu machen.

Nach den gegebenen Daten kann man nun zunächst die Länge einer jeden Seite dieses Dreiecksnetzes, also die Länge von OP, ON, NK, PH u. s. w. berechnen.

Der nördlichste Punkt dieses Dreiecksnetzes, Kittis, und der südlichste, Torneå, liegen nun aber nicht auf demselben Meridian. Eine in O angestellte Messung ergab, dass das Azimut der Visirlinie OP (Kittis-Pullingi) $28^0\ 52'$ beträgt oder, mit anderen Worten, dass die Visirlinie OP einen Winkel von $28^0\ 52'$ mit dem Meridian der Spitze des Berges Kittis macht. Danach ergiebt sich die Lage des Meridians von Kittis, wie sie in unserer Figur gezeichnet ist; Torneå liegt also östlich vom Meridian von Kittis.

Denken wir uns durch den Kirchthurm von Torneå einen Parallelkreis gezogen, welcher den Meridian von Kittis in M schneidet, so hat der Punkt M gleiche geographische Breite mit dem Kirchthurm von Torneå.

Nachdem einmal die Lage des Meridians von Kittis gegen die Linie OP festgestellt ist, lässt sich nun auch der Winkel bestimmen, welchen jede Seite des Dreiecksnetzes mit diesem Meridian macht. Hat man aber die Länge einer solchen Dreiecksseite bestimmt, so kann man auch die Länge ihrer Projection auf den Meridian von Kittis berechnen.

Denken wir uns nun die Linien ON, NK und KT durch Parallelkreise auf den Meridian von O projicirt, so ist die Summe dieser drei Projectionen gleich OM.

Oder es ist OM gleich der Summe der Projectionen von OP, PH, HC und CT.

Oder es ist OM gleich der Summe der Projectionen von OP, PA, AC und CT u. s. w.

Es lässt sich also die Länge OM aus verschiedenen Seitencombinationen berechnen, welche nahezu dasselbe Resultat geben. Als Mittel aus den zuverlässigsten Combinationen ergab sich

$$OM = 54\,942 \text{ Toisen.}$$

Nachdem nun die Länge des Meridianbogens OM ermittelt war, blieb noch die Differenz der geographischen Breite von Kittis und Torneå zu bestimmen. Zu diesem Zweck wurde zuerst auf Kittis und nachher zu Torneå die Zenithdistanz des Sternes δ Draconis zur Zeit seines Durchganges durch den Meridian gemessen. Die Differenz der beiden Zenithdistanzen ergab sich gleich

$$0^0\ 57'\ 26{,}9'',$$

demnach wäre also Kittis um 57′ 26,9″ nördlicher als Torneå. Aus der Beobachtung der Zenithdistanzen des Polarsternes aber ergab sich für die Breitendifferenz zwischen Kittis und Torneå der Werth 57′ 30,35″. Als Mittel ergiebt sich also für die Breitendifferenz der beiden Orte der Werth

$$57'\ 28{,}6''.$$

Nach diesen Daten lässt sich nun die Länge eines Breitengrades für Lappland leicht bestimmen, denn man hat

$$57'\ 28{,}6'' : 1^0 = 54\,942^t : x$$

oder

$$3448{,}6 : 3600 = 54\,942 : x,$$

aus welcher Gleichung sich für x der Werth 57 438 Toisen ergiebt. In Lappland beträgt also nach den Messungen von Maupertuis die Länge eines Breitengrades

$$57\,438 \text{ Toisen.}$$

Axendrehung der Erde. Im vorigen Capitel haben wir die 21
tägliche Bewegung der Himmelskugel sammt allen Gestirnen kennen

gelernt, und es ist nun die Frage, wie diese Erscheinung zu erklären sei. Auf den ersten Anblick scheint es am einfachsten, dem unmittelbaren Eindrucke sich hingebend, diese scheinbare Bewegung für eine wirkliche zu nehmen, d. h. also anzunehmen, dass die Erde feststehe und dass sich das ganze Himmelsgewölbe sammt allen Gestirnen in je 24 Stunden wirklich um die Weltaxe, und zwar in der Richtung von Ost nach West umdrehe.

Diese Ansicht war im Alterthume und durch das ganze Mittelalter hindurch wirklich die herrschende. In dem Maasse aber, als sich die astronomischen Kenntnisse erweiterten, wurde die Hypothese einer wirklichen täglichen Umdrehung der Himmelskugel mehr und mehr unwahrscheinlich und musste endlich der Lehre von der Axendrehung der Erde weichen.

In der That lassen sich alle Erscheinungen der täglichen Bewegung der Gestirne auch durch die Hypothese vollkommen erklären, dass sich die Erde in 24 Stunden in der Richtung von West nach Ost, also der scheinbaren Bewegung des gestirnten Himmels entgegen, um ihre Axe dreht.

Untersuchen wir nun, welche Gründe gegen die wirkliche Rotation des Himmels und für die Axendrehung der Erde sprechen.

Die Dimensionen der Erde sind verschwindend klein gegen die Entfernung der Gestirne von uns; wenn sie also wirklich in 24 Stunden alle um die Erde herumlaufen sollten, so müsste die Geschwindigkeit dieser Bewegung eine ganz enorme sein.

Eine so grosse Geschwindigkeit ist an und für sich wenig wahrscheinlich, die Unwahrscheinlichkeit wurde aber noch auffallender, nachdem man zu der Ueberzeugung gekommen war, dass es keineswegs ein festes Himmelsgewölbe gebe, an welchem alle Gestirne gleichsam befestigt sind, dass keineswegs alle Sterne gleich weit von uns entfernt, dass wenigstens der Mond, die Sonne und die Planeten uns weit näher sind, als die Fixsterne; denn nun hätte man, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung ohne die Axendrehung der Erde zu erklären, annehmen müssen, dass die Gestirne in demselben Maasse schneller in ihren täglichen Bahnen fortlaufen, in welchen sie weiter entfernt sind.

Die Unwahrscheinlichkeit einer solchen Annahme stieg bis zur Absurdität, nachdem man zu richtigen Vorstellungen über die Grösse und Entfernung der Gestirne gekommen war. Das Volumen der Sonne ist fast $1^1/_2$ Millionen mal grösser, als das der Erde, und eine solche Masse sollte in 24 Stunden einen Kreis durchlaufen, dessen Halbmesser 20 Millionen Meilen ist, während die winzige Erde sich nicht einmal um ihre Axe dreht!?

Selbst wenn wir der Fixsterne, welche noch unendlich weiter entfernt sind als die Sonne, gar nicht gedenken, müssten solche Betrachtungen allein schon genügen, die Hypothese von einer wirklichen täglichen Bewegung der Gestirne zu beseitigen, während sich für die Axendrehung

der Erde noch weitere Beweise beibringen lassen, die wir sogleich näher betrachten wollen.

Wenn sich die Erde wirklich um ihre Axe dreht, so muss sich die Schwungkraft auf ihrer Oberfläche geltend machen, und zwar muss sie um so bedeutender werden, je mehr man sich dem Aequator nähert.

Ein Körper *m*, welcher den Punkt *c* umkreist (Fig. 44), äussert fortwährend ein Streben, sich von diesem Mittelpunkte zu entfernen, und zwar ist der Weg *p*, um welchen sich *m* in einer Secunde von *c* entfernen würde, wenn andere Kräfte es nicht hinderten und ihn in der Kreisbahn zurückhielten, gleich $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$ (Lehrbuch, 9. Aufl., I. Bd., S. 158), wenn *r* den Halbmesser der Kreisbahn, *t* die Umlaufszeit in Secunden und π das Peripherieverhältniss 3,14 bezeichnet. Da $2\pi r$ gleich ist dem Umfange des Kreises, den wir mit *u* bezeichnen wollen, so ist auch

Fig. 44.

$$p = \frac{3{,}14 \, . \, u}{t^2}.$$

Der Umfang *u* des Kreises, welchen ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper bei jeder vollen Umdrehung der Erde um ihre Axe zurückzulegen hat, ist nahezu gleich 40 000 000 m, die Umlaufszeit $t = 24$ Stunden $= 86\,400$ Secunden und also

$$p = \frac{3{,}14 \, . \, 40\,000\,000}{86\,400^2} = 0{,}0168 \text{ m},$$

d. h. wenn sich die Erde in 24 Stunden wirklich um ihre Axe dreht, so muss die dadurch entstehende Schwungkraft so gross sein, dass ein auf dem Erdäquator befindlicher Körper sich in einer Secunde um 0,0168 m von dem Erdmittelpunkte entfernen würde, wenn die Schwere es nicht verhinderte.

In Folge der Axendrehung der Erde muss demnach der Weg, welchen ein frei fallender Körper in der ersten Fallsecunde durchläuft, am Aequator um 0,0168 m kleiner sein als an den Polen.

Der Fallraum der ersten Secunde in der Nähe der Pole beträgt 4,909 m; ist derselbe nun am Aequator in der That um 0,0168 m kleiner, so wäre demnach die Kraft, mit welcher ein Körper gegen die Erdoberfläche niedergezogen wird, in Folge der Axendrehung am Aequator um $\frac{0{,}0168}{4{,}909}$ oder $^1/_{292}$ kleiner als an den Polen.

Eine solche Verminderung der Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin findet aber in der That statt. Beim freien Fall der Körper sie nachzuweisen, würde freilich schwer halten; wir besitzen aber im Pendel ein viel empfindlicheres Mittel, die Intensität der Schwere zu messen, und die Pendelversuche bestätigen diese Abnahme vollständig.

Im Jahre 1672 machte der französische Astronom Richer eine wissenschaftliche Reise nach Cayenne, welches nur 5⁰ nördlich vom Aequator liegt. Als er hier seine Pendeluhr aufstellte, deren Gang zu Paris genau regulirt worden war, fand er, dass sie täglich $2^1/_2$ Minuten nachging; er musste das Pendel nahe um $^5/_4$ Linien verkürzen, um den richtigen Gang wieder herzustellen. Es konnte dies um so weniger einer Störung der Uhr während der Reise zugeschrieben werden, als die Uhr, nach Paris zurückgebracht, nun wieder 148 Secunden täglich vorging, so dass das Pendel wieder auf seine ursprüngliche Länge gebracht werden musste.

Man stellte später genaue Beobachtungen in vielen verschiedenen Gegenden der Erde an, um die Länge des Secundenpendels zu ermitteln. Die folgende Tabelle enthält eine Reihe solcher Bestimmungen.

Ort	Breite	Länge des Secundenpendels in Millimetern	Beobachter
St. Thomas . . .	0⁰ 24′ 41″	991,11	Sabine
Maranham . . .	2 31 43 S.	990,89	Sabine, Foster
Ascension	7 55 48 S.	991,19	Sabine, Duperrey
Trinidad	10 38 56	991,06	Sabine
Bahia	12 59 21 S.	991,20	"
Jamaika	17 56 7	991,47	"
Port Jackson . .	33 51 6 S.	992,59	Duperrey
New-York. . . .	40 42 43	993,17	Sabine
Wien	48 12 35	993,95	Littrow
London	51 31 8	994,13	Kater
Berlin.	52 30 16	994,23	Bessel
Güldenstein . . .	54 13 6	994,38	Schumacher, C.F.W. Peters
Königsberg . . .	54 42 51	994,41	Bessel
Brassa	60 9 42	994,88	Sabine
Drontheim . . .	63 25 54	995,01	"
Hammerfest . . .	70 40 5	995,54	"
Grönland	74 32 19	995,75	"
Spitzbergen . . .	79 49 58	996,05	"

Die Länge des Secundenpendels ist durch die Gleichung

$$L = l + m \,.\, (\sin \varphi)^2$$

gegeben, in welcher l die Länge des Secundenpendels auf dem Aequator,

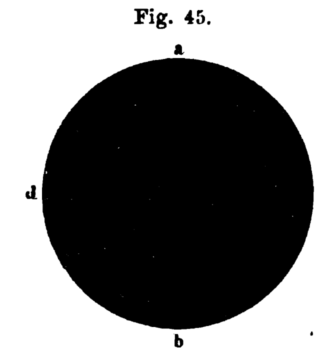
L aber die Länge desselben an einem Orte bezeichnet, dessen geographische Breite φ ist. Für Metermaass ist

$$l = 99{,}0918 \text{ cm}$$
$$m = 0{,}5262.$$

Da nun die beschleunigende Kraft der Schwere der Länge des Secundenpendels proportional ist, so ist durch diese Versuche erwiesen, dass in der That die Schwerkraft von den Polen nach dem Aequator hin abnimmt, und diese Abnahme ist im Wesentlichen durch die von der Axendrehung der Erde herrührende Schwungkraft bedingt.

Die Abplattung der Erde selbst, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, ist eine Folge ihrer Axendrehung. Um dies darzuthun, wollen wir uns die Erde zunächst als eine feste Kugel denken, in welcher sich zwei Canäle ac und dc befinden, welche im Mittelpunkte der Erde zusammentreffen, und von denen der eine beim Nordpol a, der andere an einem Punkte d des Aequators mündet (Fig. 45). Diese beiden Canäle seien nun mit Wasser gefüllt, so werden beide Wassersäulen durch die Schwerkraft gegen den Mittelpunkt c hin angezogen, und zwar gleich stark, wenn keine Axendrehung stattfindet; in diesem Falle werden die Wassersäulen cd und ca gleich hoch sein müssen, wenn Gleichgewicht stattfinden soll. In Folge der Rotation um die Axe ab wird aber der Zug der Schwere, den eine bei d befindliche Wasserschicht erleidet, wie wir gesehen haben, um $^1/_{292}$ vermindert.

Fig. 45.

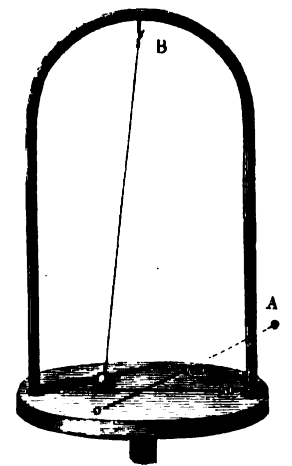


Betrachten wir aber eine zweite in der Aequatorealröhre liegende Wasserschicht bei r, welche nur $\frac{1}{n}$ so weit von c entfernt ist wie d, so ist hier freilich die Schwungkraft n mal geringer, allein auch die Kraft, mit welcher die Schicht r gegen c hingezogen wird, ist, wie sich aus dem Gesetze der allgemeinen Massenanziehung ergiebt, n mal kleiner, als das Gewicht einer gleichen Wasserschicht bei d; mithin ist auch hier bei r der Zug der Schwere gegen c durch die Schwungkraft um $^1/_{292}$ kleiner, als sie ohne die Rotation der Erde sein würde, sie ist um $^1/_{292}$ kleiner als die Zugkraft, welche auf die gleich weit von c abstehende Schicht p in der Polarröhre wirkt. Da nun dasselbe für alle entsprechenden Schichten der beiden Röhren gilt, so ist klar, dass in Folge der Axendrehung der Erde die Gesammtkraft, welche das Wasser in der Röhre dc gegen den Erdmittelpunkt treibt, um $^1/_{292}$ kleiner ist, als die entsprechende Kraft, welche auf das Wasser in der Röhre ca wirkt; wenn also Gleichgewicht stattfinden soll, so muss die Wassersäule in der Aequatorealröhre cd um $^1/_{292}$ länger sein, als die Wassersäule in der Polarröhre ca.

Wäre die ganze Erde eine flüssige, in 24 Stunden um ihre Axe rotirende Masse, so müsste offenbar zwischen dem Aequatoreal- und dem Polarhalbmesser dasselbe Grössenverhältniss bestehen, wie wir es eben für die Wassersäulen in den hypothetischen Röhren berechnet haben, oder, mit anderen Worten, die Erde müsste eine Polarabplattung von $^1/_{292}$ zeigen. Die auf diesem Wege berechnete Abplattung stimmt beinahe vollständig mit der durch Gradmessungen ermittelten überein, und diese Uebereinstimmung würde noch grösser sein, wenn man alle hier influirenden Umstände bei der Rechnung berücksichtigt hätte. Es unterliegt demnach wohl keinem Zweifel, dass die Abplattung der Erde eine Folge ihrer Axendrehung ist, und dass sie zu der Zeit, als sie sich noch in flüssigem Zustande befand, schon genähert dieselbe Axendrehung hatte wie gegenwärtig.

22 **Foucault's Pendelversuch.** Ein einfaches Pendel, welches in einer bestimmten Ebene schwingt, wird seine Oscillationsebene unverändert beibehalten, wenn nicht äussere Kräfte es aus derselben verdrängen.

Fig. 46.



Es lässt sich dies sehr leicht mit Hülfe der Vorrichtung Fig. 46, welche auf irgend eine verticale Umdrehungsaxe, etwa auf die einer Schwungmaschine aufgesteckt werden kann, bewerkstelligen. Auf einem horizontalen runden Brette ist ein Bügel von Metalldraht befestigt, von dessen Mitte ein Faden herabhängt, welcher eine Bleikugel trägt. In seiner Gleichgewichtslage fällt dieses einfache Pendel mit der Umdrehungsaxe des Apparates zusammen.

Bringt man das Pendel in der Richtung der mit 0 — 180 bezeichneten Linie aus seiner Gleichgewichtslage, so wird es, alsdann sich selbst überlassen, über der Linie 0 — 180, also rechtwinklig zur Ebene des Bügels hin- und herschwingen, so lange der ganze Apparat in Ruhe bleibt.

Wird aber die Scheibe um ihre verticale Axe langsam umgedreht, so wird die Schwingungsebene des Pendels dessenungeachtet unverändert bleiben, es wird also der Reihe nach ein Durchmesser der Scheibe nach dem anderen unter der Schwingungsebene des Pendels hindurchgehen. Hat man z. B. das Pendel einmal in der Verticalebene in Schwingung gesetzt, welche man sich durch den Aufhängepunkt *B* des Pendels und irgend einen ausserhalb des Apparates gelegenen feststehenden Punkt *A* gelegt denken kann, so wird das Pendel stets in dieser Ebene schwingen, wie der Apparat auch gedreht wird. Liegt z. B. in einem bestimmten Moment der Durchmesser 0 — 180 der Scheibe gerade unter der Bahn

der Pendelkugel, so wird dieselbe nach einer viertel Umdrehung der Scheibe über den Durchmesser 90 — 270 hinweggehen, welche unterdessen in die Verticalebene von AB gelangt ist.

In demselben Verhältniss, wie dieses Pendel zur gedrehten Scheibe, würde sich offenbar ein gerade über dem einen Pol, etwa dem Nordpol der Erde aufgehängtes Pendel zur Erdoberfläche verhalten. Nehmen wir an, das Pendel werde in der Ebene, welche in diesem Moment die Ebene der Meridiane 0 — 180 einnimmt, in Schwingung versetzt, so wird es in dieser Schwingungsebene verharren, während die Erde mit ihren Meridianen unter dem in unveränderter Lage bleibenden Schwingungsbogen des Pendels fortrotirt.

Bei der fortdauernden Rotation der Erde werden also der Reihe nach die verschiedenen Meridiane unter dem Schwingungsbogen des Pendels durchpassiren; in Beziehung auf die Erdoberfläche scheint sich also die Schwingungsebene des Pendels zu drehen, und zwar in der Richtung von Ost nach West, weil die Erde in entgegengesetzter Richtung rotirt. Ein Pendel, welches ursprünglich in der Richtung vom Nordpol nach Paris hin oscillirte, wird nach zwei Stunden gegen die Ostküste von Grönland, nach vier Stunden gegen Neufoundland hin schwingen.

Es sei nun C (Fig. 47, a. f. S.) der Mittelpunkt der Erde, P der Nordpol, Q der Südpol, O ein Ort der Erdoberfläche, in welchem ein Pendel aufgestellt und in Schwingungen versetzt ist. Bei der Drehung der Erde um ihre Axe beschreibt die Verbindungslinie OC den Mantel eines Kegels, dessen Spitze im Mittelpunkte C der Erde liegt, während der Punkt O sich in dem Parallelkreise DE bewegt. Wir können uns die Drehung der Erde um ihre Axe PQ ersetzt denken durch zwei Drehungen um zwei auf einander senkrechte Axen, welche beide in der Ebene des Meridians liegen und durch den Mittelpunkt der Erde C gehen, und von denen die eine mit der Linie CO zusammenfällt, während die andere (CB) senkrecht darauf steht und den Meridian von O in B trifft. Die Lage dieser beiden Axen ändert sich fortwährend, und jede beschreibt den Mantel eines Kegels, dessen Spitze in C liegt.

Wir wollen jetzt annehmen, dass in einer kurzen Zeit, z. B. in einer Zeitsecunde, der Punkt O durch die Drehung der Erde um ihre Axe PQ nach O' kommt. Der Punkt O könnte aber offenbar auch durch eine Drehung der Erde um die Axe CB nach O' kommen, dabei würde sich aber die Lage der Pole verändern, es würde P nach einem Punkte P' und Q nach Q' kommen. Der grösste Kreis $P'O'Q'$ würde nun gegen den grössten Kreis $PO'Q$ einen Winkel $PO'P'$ oder $QO'Q'$ bilden, und wir können offenbar den Meridian $P'Q'$ in die Lage PQ bringen, wenn wir der Kugel noch eine Drehung um die Verticale CO' des Ortes O' um den Winkel $PO'P'$ geben. Dabei wird der Punkt B nach einem Punkte B' kommen, und da der Winkel $B'CO' = 90^0$ ist, so wird der Bogen BB' gleich dem sphärischen Winkel $BO'B' = PO'P'$ werden. Es sei nun FG ein Stück des Aequators, welches zwischen den Meri-

dianen POQ und $PO'Q$ liegt, dann ist der Bogen FG gleich dem sphärischen Winkel OPO' oder OQO', den wir gleich einer Zeitsecunde oder 15 Bogensecunden voraussetzten, und endlich ist der Bogen OO' gleich dem Winkel OBO'.

In einer ferneren Zeitsecunde kommen O' nach O'', in einer folgenden nach O''' u. s. w.; dabei werden die entsprechenden Winkel am Pole, $O'PO''$, $O''PO'''$ u. s. w., alle unter einander gleich und $= 15''$ sein. Nun ist OF gleich der geographischen Breite des Punktes O, die wir $= \varphi$ setzen wollen, und da $OB = 90^0$ ist, so ist $FB = 90^0 - \varphi$.

Fig. 47.

Ferner ist $FQ = 90^0$, also $BQ = 90^0 - FB = \varphi$. In dem sphärischen Dreieck QBB' haben wir also die Seite $BQ = \varphi$, den Winkel bei $B' = 90^0$, und den Winkel bei $Q = 15''$, also ist:

$$\sin BB' = \sin 15''.\sin \varphi,$$

oder, da wir wegen der Kleinheit von BB' und $15''$ diese Grössen statt ihrer Sinusse setzen können,

$$BB' = 15'' \sin \varphi,$$

und da ferner:

$$BB' = \angle\, BO'B' = \angle\, PO'P'$$

ist, so ist:

$$\angle\, PO'P' = 15'' \sin \varphi.$$

Die Drehung, welche die Erde während einer Secunde um die verticale Axe CO' erhält, ist demnach $= 15'' \sin \varphi$, und diese muss sich in der Schwingungsebene des Pendels bemerklich machen. Es erfolgt zwar auch eine Drehung der Erde um die Axe BC, d. h. um eine der Mittagslinie von O parallele Axe, diese wird aber dadurch, dass die Schwingungsebene sich in Folge der Schwerkraft immer vertical stellt, vollständig compensirt, so dass sie sich dem Beobachter nicht bemerklich macht.

Da nun in jeder Secunde eine scheinbare Drehung der Schwingungsebene des Pendels im Betrage von $15'' \sin \varphi$ und entgegengesetzt der wirklichen Bewegung der Erde stattfindet, so wird die Ebene sich im Laufe eines Tages, in welcher Zeit die Erde eine vollständige Drehung von 360^0 um ihre Axe ausführt, im Betrage von $360^0 \sin \varphi$ herumdrehen. In einem Tage wird also diese Drehung an den Polen $= 360^0$, am Aequator $= 0^0$ und an jedem Orte von der geographischen Breite $\varphi = 360^0 \sin \varphi$ sein.

An allen zwischen dem Pol und dem Aequator befindlichen Punkten wird demnach die Schwingungsebene des Pendels in Folge der Axendrehung der Erde eine Drehung zeigen müssen, und zwar auf der nördlichen Hemisphäre in der Richtung Ost, Süd, West u. s. w., auf der südlichen aber in der Richtung Ost, Nord, West u. s. w. Die Grösse dieser Drehung wird aber in gleichen Zeiten um so bedeutender sein, je näher man sich einem Pole der Erde befindet. Die folgende Tabelle giebt für einige Orte die Drehung der Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels während einer Stunde an:

Ort	Geograph. Breite	Grösse der Drehung in einer Stunde
Nordpol	90^0 —	15^0
Königsberg	54^0 42'	12,83
München	48 8	11,31
Rom	41 54	10,16
Mexico	19 25	5,04
Cayenne	4 56	1,31

Foucault war es, der zuerst auf den glücklichen Gedanken kam, dass die scheinbare Drehung der Schwingungsebene eines einfachen Pendels eine nothwendige Folge der Umdrehung der Erde sei, dass man also mittelst eines solchen Pendels, welches stundenlang fortschwingt, einen directen Beweis für die Axendrehung der Erde liefern kann.

Der Versuch bestätigte seine Erwartung vollständig. Das erste Pendel, mit welchem er experimentirte, war nur 2 m lang und hatte

eine 5 kg schwere Kugel. Nachdem er an demselben die Erscheinung zuerst beobachtet hatte, wiederholte er den Versuch mit einem 11 m langen Pendel im Meridiansaale der Pariser Sternwarte und endlich mit einem Pendel von 67 m Länge im Pantheon zu Paris, welches zu Anfang

Fig. 48.

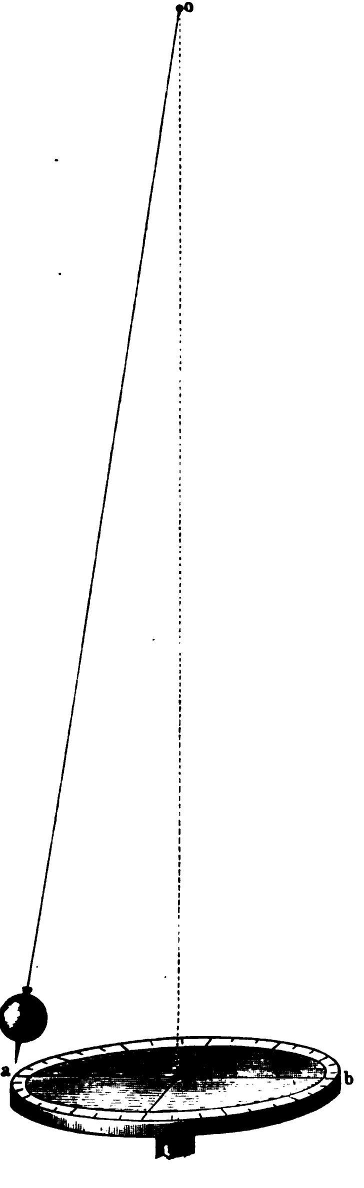
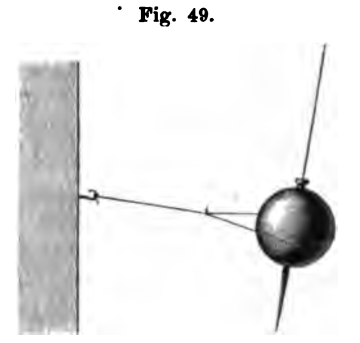


Fig. 49.



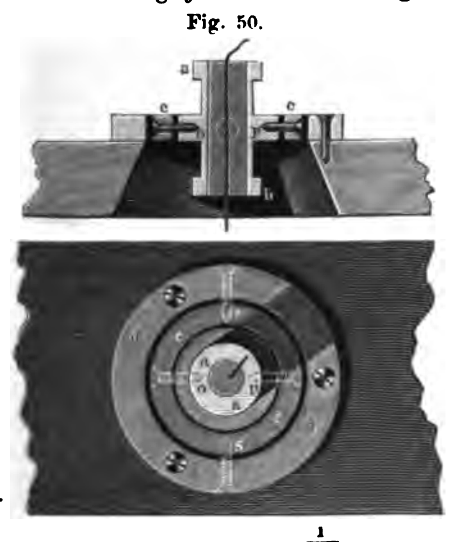
des Jahres 1852 in hohem Grade das Interesse des grossen Publicums erregte.

Die unten mit einer Spitze versehene Kugel dieses Pendels wog 28 kg und hing an einem Stahldraht. Bei dieser Masse des Pendels sind seine Schwingungen nach fünf bis sechs Stunden noch hinreichend gross, um deutlich beobachtet zu werden, wenn die Kugel ursprünglich etwa um zehn Fuss aus ihrer Gleichgewichtslage entfernt worden war.

Um die Drehung der Schwingungsebene des Pendels gegen die Erdoberfläche beobachten und messen zu können, wird auf dem Boden eine kreisförmig getheilte Scheibe angebracht, deren Mittelpunkt m, Fig. 48, vertical unter dem Aufhängepunkt o des Pendels liegt. Nehmen wir an, dass die Pendelkugel zu Anfang ihrer Bewegung gerade über dem Durchmesser ab hinschwinge, so wird sie nach der Zeit t, $2t$, $3t$ u. s. w. in der Richtung eines Durchmessers schwingen, welcher einen Winkel von 10, 20, 30 u. s. w. Grad mit ab macht.

Es versteht sich von selbst, dass der Ort, an welchem das Foucault'sche Pendel aufgehängt ist, vor Luftströmungen geschützt ist; ebenso muss dafür gesorgt sein, dass die Pendelkugel beim Beginn ihrer Oscillationen frei von jeder seitlichen Bewegung ist. Es wird dies auf folgende Weise erreicht: die aus ihrer Gleichgewichtslage entfernte Kugel wird, wie man in Fig. 49 sieht, mit einem Faden umfasst, welcher an einem seitlich befindlichen festen Gegenstande befestigt ist. Wenn nun die Pendelkugel in dieser Lage vollständig zur Ruhe gekommen ist, wird unter Vermeidung jeder Erschütterung der Faden mittelst eines angezündeten Streichhölzchens abgebrannt und dadurch die Oscillation des Pendels eingeleitet.

Fig. 50.



$\frac{1}{2}$

Bei dem Foucault'schen Versuch war das obere Ende des Stahldrahtes durch ein gleich weites, in eine starke Metallplatte gebohrtes Loch hindurchgezogen und auf der oberen Fläche dieser Metallplatte befestigt; die Metallplatte selbst war aber unbeweglich an dem Gewölbe befestigt, von welchem das Pendel herunter hing.

Um jede, von einer etwaigen Torsion oder Biegung des Drahtes herrührende Störung zu vermeiden, kann man auch die Cardani'sche Aufhängung in Anwendung bringen, welche in Fig. 50 in einer Form dargestellt ist, welche ursprünglich für einen anderen, später zu besprechenden Apparat construirt war.

Das obere Ende des Aufhängedrahtes ist in der Axe einer Messinghülse ausgespannt und dann die Höhlung derselben mit Blei ausgegossen. Um zu verhindern, dass der Draht etwa durch das Gewicht der Pendelkugel aus der Bleimasse herausgezogen wird, kann man sein oben aus der Bleimasse hervorragendes Ende umbiegen und zwei- oder dreimal um die Messinghülse herum winden. In ihrer Mitte nun ist die Hülse *ab* von einem Messingringe umgeben, welcher um die diametral einander gegenüberstehenden Zapfen *o* und *p* drehbar ist. Die beiden horizontalen Zapfen *o* und *p* werden aber von dem Messingringe *c* getragen, welcher selbst wieder um die diametral einander gegenüberstehenden Zapfen *r* und *s* drehbar ist, deren Axe rechtwinklig steht zu der Axe von *o* und *p*. Die Zapfen *r* und *s* endlich werden von einem Messingringe *d* getragen, welcher auf einem die ganze Vorrichtung tragenden Brett befestigt wird.

Obgleich die Axendrehung der Erde schon vorher zu den unzweifelhaftesten Lehren der Physik gezählt wurde, so erregte doch der Foucault'sche Pendelversuch in der ganzen physikalischen Welt das grösste Interesse; er wurde an vielen Orten wiederholt und überall bestätigt gefunden, wo man hinreichend lange Pendel mit genügender Sicherheit aufgehängt und Alles beseitigt hatte, was störend auf die Regelmässigkeit des Ganges hätte einwirken können.

Zu den gelungensten Wiederholungen des Foucault'schen Pendelversuches in Deutschland sind besonders die von Schwerd im Speyerer und die von Garthe im Kölner Dome angestellten zu rechnen. Ebenso ist der Versuch in der Universitätskirche zu Freiburg mit dem besten Erfolge wiederholt.

Drittes Capitel.

Die Sonne und die Beziehungen der Erde zu derselben.

Ortsveränderung der Sonne am Himmelsgewölbe. Dass 23
die Sonne ihre Stelle am Fixsternhimmel fortwährend ändert, geht schon aus der oberflächlichsten Beobachtung hervor. Während sie nämlich gegen Ende März gerade im Osten aufgeht, geht sie im Sommer weit mehr nördlich, im Winter weit mehr südlich auf. Im Sommer ist ihr Tagbogen, im Winter ist ihr Nachtbogen grösser, und daraus folgt, dass sie während des Sommers nördlich, während des Winters südlich vom Himmelsäquator steht. Aber nicht allein rechtwinklig zu dem Aequator bewegt sich die Sonne, sondern auch parallel mit demselben, was daraus hervorgeht, dass zu derselben Tageszeit in verschiedenen Jahreszeiten immer andere Sterne culminiren, wie wir bereits S. 16 gesehen haben.

Am 10. Januar culminiren um Mitternacht: Castor und Pollux im Sternbilde der Zwillinge und Procyon im Sternbilde des kleinen Hundes. Daraus folgt, dass die Rectascension der Sonne um diese Zeit um 180° grösser ist, als die der genannten Sterne, dass sie also der Sternkarte Tab. IV. zufolge ungefähr 294° beträgt. Da nun ferner am 10. Januar die südliche Declination der Sonne ungefähr 20° ist, so lehrt ein Blick auf die erwähnte Karte, dass um diese Zeit die Sonne im Sternbilde des Schützen steht; dass also Leyer, Schwan, Adler u. s. w. diejenigen Sternbilder sind, welche gerade an dem bezeichneten Tage zur Mittagszeit dem Meridian nahe stehen.

Die Bahn, welche die Sonne am Himmel zurücklegt und welche den Namen der Ekliptik führt, ergiebt sich ganz einfach, wenn man nach der im Cap. I, §. 12 entwickelten Methode in bestimmten Zeitintervallen, etwa von Tag zu Tag, die Rectascension und Declination der Sonne bestimmt.

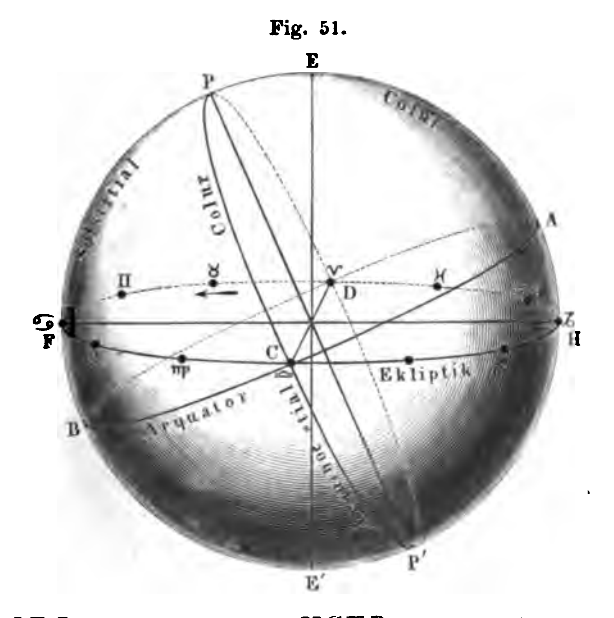
Die folgende Tabelle giebt die Rectascension und Declination der Sonne für das Jahr 1890 von acht zu acht Tagen, und zwar im Moment des wahren Berliner Mittags.

Tag	Rectascension	Declination
1. Januar	18^h $48{,}1^m$	22^0 59,6′ südlich
9. „	19 23,2	22 4,6 „
17. „	19 57,7	20 42,0 „
25. „	20 31,5	18 54,3 „
2. Februar	21 4,4	16 44,6 „
10. „	21 36,4	14 16,3 „
18. „	22 7,6	11 32,8 „
26. „	22 38,1	8 37,7 „
6. März	23 8,0	5 34,5 „
14. „	23 37,4	2 26,6 „
22. „	0 6,6	0 43,0 nördlich
30. „	0 35,7	3 51,0 „
7. April	1 4,8	6 54,4 „
15. „	1 34,2	9 50,3 „
23. „	2 4,0	12 35,9 „
1. Mai	2 34,3	15 8,2 „
9. „	3 5,1	17 24,5 „
17. „	3 36,6	19 22,4 „
25. „	4 8,6	20 59,3 „
2. Juni	4 41,2	22 13,1 „
10. „	5 14,2	23 2,1 „
18. „	5 47,4	23 25,3 „
26. „	6 20,7	23 22,1 „
4. Juli	6 53,8	22 52,7 „
12. „	7 26,5	21 57,8 „
20. „	7 58,8	20 38,9 „
28. „	8 30,5	18 57,7 „
5. August	9 1,6	16 56,6 „
13. „	9 32,0	14 38,0 „
21. „	10 1,9	12 4,3 „
29. „	10 31,2	9 18,5 „
6. September	11 0,2	6 23,2 „
14. „	11 29,0	3 21,1 „
22. „	11 57,7	0 15,0 „
30. „	12 26,5	2 52,1 südlich
8. October	12 55,6	5 57,2 „
16. „	13 25,2	8 57,5 „
24. „	13 55,4	11 49,6 „
1. November	14 26,4	14 30,1 „
9. „	14 58,2	16 55,6 „
17. „	15 30,9	19 2,8 „
25. „	16 4,5	20 48,2 „
3. December	16 38,9	22 8,7 „
11. „	17 13,9	23 1,9 „
19. „	17 49,3	23 25,9 „
27. „	18 24,9	23 19,9 „

Nach dieser Tabelle sind die Sonnenorte der genannten Tage in der Sternkarte Tab. IV. eingetragen und durch eine krumme Linie verbunden.. Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich nun, dass die Bahn, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf dem Himmelsgewölbe durchläuft, ein grösster Kreis ist, wie man am leichtesten übersieht, wenn man die Sonnenorte der obigen Tabelle nicht in einer ebenen Himmelskarte, sondern auf einem Himmelsglobus aufträgt.

Fig. 51 dient dazu, die gegenseitige Lage des Himmelsäquators und der Ekliptik anschaulich zu machen. PP' ist die Axe der Himmels-

Fig. 51.



kugel, $ACBD$ ist der Aequator, $HCFD$ die Ekliptik. Diese beiden Kreise schneiden sich in den Punkten D und C, welche den Namen der Aequinoctialpunkte führen, weil in der Zeit, wo die Sonne sich in denselben, also auf dem Himmelsäquator befindet, Tag und Nacht gleich sind. Den einen dieser Punkte passirt die Sonne am 21. März, den anderen am 22. September.

Aus der Sternkarte Tab. IV. ersehen wir, dass der Punkt, in welchem die Sonne am 20. März den Aequator passirt, im Sternbilde der Fische liegt. Dies ist der Punkt des Frühlingsäquinoctiums, der Punkt, von welchem aus die Rectascension der Gestirne gezählt wird. Man nennt diesen Punkt auch kurz den Frühlingspunkt.

Der Punkt des Herbstäquinoctiums, der Herbstpunkt, welchen die Sonne am 22. September passirt, liegt im Sternbilde der Jungfrau. Vom 20. März bis zum 22. September bleibt die Sonne auf der

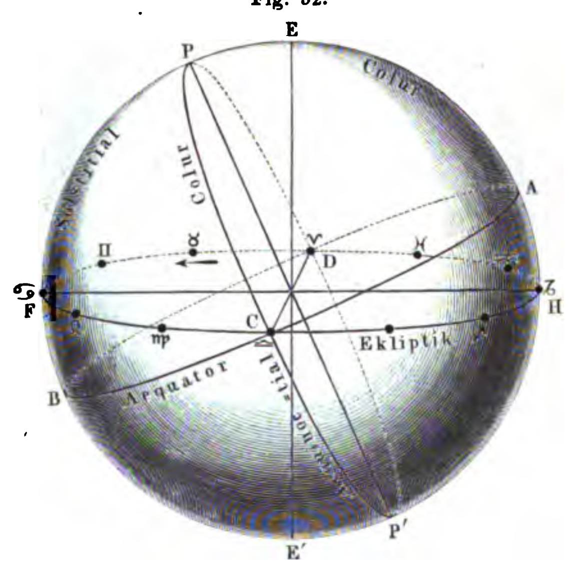
nördlichen Hemisphäre des Himmels; am 22. September tritt sie auf die südliche Halbkugel, welche sie erst am 20. März wieder verlässt.

Am 21. Juni erreicht die Sonne ihre grösste nördliche, am 21. December ihre grösste südliche Declination von 23° 27′, woraus sich ergiebt, dass der Winkel, welchen die Ebene der Ekliptik mit der Ebene des Aequators macht, 23° 27′ beträgt. Dieser Winkel wird die Schiefe der Ekliptik genannt.

Die Punkte *F* und *H*, Fig. 52, in welchen die Sonne ihre grösste nördliche und ihre grösste südliche Declination erreicht, heissen die Punkte der Sonnenwende oder die Solstitialpunkte.

Die Kreise *PDP′C* und *PBP′A*, Fig. 52, werden Coluren genannt, und zwar ist der Kreis, welcher durch die beiden Himmelspole

Fig. 52.



und die Aequinoctialpunkte *C* und *D* geht, der Aequinoctialcolur, während der Kreis, welcher durch die Himmelspole und die Solstitialpunkte *F* und *H* geht, der Solstitialcolur genannt wird.

Die Ebenen der beiden Coluren machen einen Winkel von 90° mit einander.

24 **Pol der Ekliptik, Länge und Breite am Himmel.** Je zwei grösste Kreise der Himmelskugel, welche rechtwinklig auf der Ekliptik stehen, schneiden sich in den Punkten *E* und *E′*, welche sich zu der Ekliptik gerade so verhalten, wie der Nord- und Südpol des Himmels zu dem Himmelsäquator; diese Punkte sind die Pole der Ekliptik.

Da der Solstitialcolur auch rechtwinklig auf der Ekliptik steht, so müssen die Pole der Ekliptik nothwendig auf dem Solstitialcolur liegen,

und zwar stehen sie auf diesem Solstitialcolur um 90° von den Solstitialpunkten F und H der Ekliptik ab, sie liegen also 23° 27′ von den Polen P und P' des Aequators entfernt.

Der nördliche Pol der Ekliptik liegt in dem Sternbilde des Drachen; in der Sternkarte Tab. III. ist er besonders bezeichnet.

Die Ekliptik kann zur Ortsbestimmung auf der Himmelskugel ebenso dienen, wie der Himmelsäquator. Denkt man sich durch irgend einen Stern und den Pol der Ekliptik einen grössten Kreis gelegt, so heisst das Bogenstück zwischen dem Stern und der Ekliptik die **Breite** des Sternes; man kann die Breite eines Sternes auch als den Winkelabstand desselben von der Ekliptik bezeichnen.

Die **Länge des Sternes** aber ist der auf der Ekliptik nach Osten gezählte Bogen vom Frühlingspunkte an bis zu dem Punkte, in welchem der durch den Stern und den Pol der Ekliptik gelegte grösste Kreis die Ekliptik schneidet.

Man sieht also, dass die Längen und Breiten für die Himmelskugel eine andere Bedeutung haben, als für die Erdkugel. Auf der Erdkugel beziehen sie sich auf den Aequator, auf der Himmelskugel dagegen auf die Ekliptik.

Da sich die Sonne auf der Ekliptik nach Osten hin fortbewegt, so nimmt ihre Länge von Tag zu Tag zu, bis sie zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums wieder in dem Punkte anlangt, von welchem aus die Länge gezählt wird, nämlich im Frühlingspunkte.

Die folgende Tabelle giebt die Länge der Sonne von acht zu acht Tagen für den mittleren Berliner Mittag im Jahre 1890:

Tag	Länge	Tag	Länge	Tag	Länge
1. Januar	281° 3,9′	1. Mai	41° 0,5′	6. Septbr.	163° 46,4′
9. „	289 12,9	9. „	48 44,8	14. „	171 33,5
17. „	297 21,9	17. „	56 27,7	22. „	179 22,6
25. „	305 30,3	25. „	64 9,2	30. „	187 13,6
2. Februar	313 37,6	2. Juni	71 49,2	8. Octbr.	195 6,9
10. „	321 43,5	10. „	79 28,1	16. „	203 2,6
18. „	329 48,2	18. „	87 6,6	24. „	211 0,2
26. „	337 51,3	26. „	94 44,5	1. Novbr.	218 59,8
6. März	345 52,2	4. Juli	102 21,9	9. „	227 1,5
14. „	353 51,1	12. „	109 59,5	17. „	235 5,2
22. „	1 48,2	20. „	117 37,6	25. „	243 10,3
30. „	9 43,0	28. „	125 16,2	3. Decbr.	251 16,7
7. April	17 35,4	5. August	132 55,5	11. „	259 24,4
15. „	25 25,7	13. „	140 36,0	19. „	267 33,1
23. „	33 14,2	21. „	148 18,0	27. „	275 42,0
		29. „	156 1,3		

Da die Sonne die Ekliptik nicht genau in 365 Tagen durchläuft, sondern dazu nahe 365¼ Tage braucht, so wird sie auch am Mittag eines bestimmten Tages nicht genau an derselben Stelle der Ekliptik stehen, an welcher sie sich an dem Mittag desselben Tages im vorigen Jahre befand. So war z. B. die Länge der Sonne zur Zeit des mittleren Berliner Mittags am 22. März 1882 gleich $1^0 44,3'$. Am Mittag des 22. März 1883 hatte sie diesen Punkt noch nicht wieder erreicht, da ihre Länge zu dieser Zeit nur $1^0 30,1'$ betrug. Daraus ergiebt sich nun, dass auch Rectascension und Declination der Sonne für den wahren Mittag der gleichen Monatstage in verschiedenen Jahren nicht dieselbe sein kann.

Auf diese Weise würde die Länge der Sonne für den gleichen Jahrestag fortwährend abnehmen, wenn man nicht alle vier Jahre durch Einschaltung eines Tages (Schalttag) eine Ausgleichung zu Stande brächte, von welcher weiter unten ausführlicher die Rede sein soll.

Die astronomischen Jahrbücher oder Ephemeriden, welche stets auf einige Jahre voraus berechnet werden, enthalten für jeden Tag des Jahres und zwar für den mittleren resp. wahren Mittag der Sternwarte, auf welche sie sich beziehen, die Länge, die Rectascension und die Declination der Sonne bis auf Bruchtheile von Secunden genau.

25 **Der Thierkreis.** Die Sternbilder, welche die Sonne durchläuft, sind (Tab. IV.) der Reihe nach: die Fische, der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Krebs und der Löwe auf der nördlichen, die Jungfrau, die Wage, der Scorpion, der Schütze, der Steinbock und der Wassermann auf der südlichen Hemisphäre des Himmels.

Der Gürtel dieser zwölf von der Sonnenbahn durchschnittenen Sternbilder wird der Thierkreis oder der Zodiacus genannt.

Früher theilte man die Ekliptik zuerst in zwölf gleiche Theile und dann jeden derselben wieder in 30^0, wodurch dann ebenfalls die 360^0 herauskommen. Diese zwölf Theile nennt man die Zeichen der Ekliptik. Diese Zeichen führen die Namen benachbarter Sternbilder des Thierkreises, und zwar heissen sie vom Frühlingspunkte an nach Osten gerechnet:

♈	♉	♊	♋	♌	♍
Widder,	Stier,	Zwillinge,	Krebs,	Löwe,	Jungfrau,
♎	♏	♐	♑	♒	♓
Wage,	Scorpion,	Schütze,	Steinbock,	Wassermann,	Fische.

Auf Tab. IV. ist der Anfangspunkt eines jeden dieser zwölf Zeichen durch die ihm entsprechende Figur angedeutet.

Das Zeichen des Widders entspricht also der Länge von 0 bis 30^0, das Zeichen des Stiers von 30 bis 60^0. Das Zeichen der Wage erstreckt sich vom 180. bis 210. Längengrade u. s. w.

Man sieht, dass die Zeichen der Ekliptik mit den gleichnamigen Sternbildern nicht zusammenfallen. Die Sonne befindet sich im Zeichen des Widders, während sie im Sternbilde der Fische steht; wenn sie

in das Sternbild des Widders übergeht, so tritt sie in das Zeichen des Stiers u. s. w., kurz, jedes Zeichen der Ekliptik führt den Namen des nach Osten hin an dasselbe grenzenden Sternbildes. Wenn die Sonne sich im Zeichen des Krebses befindet, so steht sie im Sternbilde der Zwillinge.

Woher diese Verschiedenheit zwischen Zeichen und Sternbild rührt, das werden wir in einem späteren Capitel sehen.

Wahre und mittlere Sonnenzeit. Die Sonne schreitet auf 26
der Ekliptik in der Richtung von Westen nach Osten voran, also der täglichen Bewegung der Gestirne entgegen. Daher kommt es denn, dass, wie bereits in §. 3 angeführt wurde, der Sonnentag länger ist als der Sterntag; denn wenn heute die Sonne gleichzeitig mit einem bestimmten Sterne culminirt, so wird bis zu dem Momente, in welchem derselbe Stern morgen wieder culminirt, die Sonne etwas nach Osten hin fortgeschritten sein, also etwas später als der fragliche Stern in den Meridian treten.

Es ist nun leicht, das auf S. 10 bereits angegebene Verhältniss zwischen Sternzeit und mittlerer Sonnenzeit zu berechnen. Die Zeit, welche die Sonne braucht, um, vom Frühlingspunkte ausgehend, wieder in demselben anzukommen, die Zeit also, welche die Sonne braucht, um die ganze Ekliptik einmal zu durchlaufen, nennen wir das Jahr. Das Jahr hat (annähernd) 365 Tage; auf diese 365 Tage kommen aber 366 Sterntage, da ja die Sonne während dieser Zeit gerade einmal um den Himmel herumgegangen ist. Das Verhältniss des Sonnentages zum Sterntage ist also $\frac{366}{365} = 1{,}00274$, und daraus folgt, dass eine Stunde Sonnenzeit gleich ist $1^h\ 0^m\ 9{,}86^s$ Sternzeit, wie bereits oben angegeben wurde.

In der folgenden Tafel ist die auf ganze Secunden abgerundete Reduction gegeben, welche an die Sternzeit anzubringen ist, um sie in mittlere Zeit zu verwandeln, und umgekehrt.

Tafel zur Verwandlung der mittleren Zeit und Sternzeit.

Stunden	Red.	Stunden	Red.
0^h	$0^m\ 0^s$	13^h	$2^m\ 8^s$
1	0 10	14	2 18
2	0 20	15	2 28
3	0 30	16	2 37
4	0 39	17	2 47
5	0 49	18	2 57
6	0 59	19	3 7
7	1 9	20	3 17
8	1 19	21	3 27
9	1 29	22	3 36
10	1 38	23	3 46
11	1 48	24	3 56
12	1 58		

Min.	Red.	Min.	Red.	Min.	Red.
0m	0s	21m	3s	42m	7s
1	0	22	4	43	7
2	0	23	4	44	7
3	0	24	4	45	7
4	1	25	4	46	8
5	1	26	4	47	8
6	1	27	4	48	8
7	1	28	5	49	8
8	1	29	5	50	8
9	1	30	5	51	8
10	2	31	5	52	9
11	2	32	5	53	9
12	2	33	5	54	9
13	2	34	6	55	9
14	2	35	6	56	9
15	2	36	6	57	9
16	3	37	6	58	10
17	3	38	6	59	10
18	3	39	6	60	10
19	3	40	7		
20	3	41	7		

Es sei z. B. $6^h\ 24^m\ 36^s$ Sternzeit in mittlere Zeit zu verwandeln. Die Tafel giebt:

Arg. 6^h . . . $0^m\ 59^s$
„ 25^m . . . 4

Red. = $1^m\ 3^s$

Dies abgezogen von $6^h\ 24^m\ 36^s$,

giebt mittlere Zeit $6^h\ 23^m\ 33^s$.

Dies ist die mittlere Zeit, welche seit der Culmination des Frühlingspunktes verflossen ist.

Es sei umgekehrt $6^h\ 23^m\ 33^s$ mittlere Zeit in Sternzeit zu verwandeln. Wir haben

Arg. 6^h . . . $0^m\ 59^s$
„ 24^m . . . 4

$1^m\ 3^s$

Dies addirt zu $6^h\ 23^m\ 33^s$,

giebt Sternzeit = $6^h\ 24^m\ 36^s$.

Dies würde die Sternzeit sein, welche seit dem mittleren Mittage verflossen ist.

Während nun ein Sterntag dem anderen vollkommen gleich ist, haben die Sonnentage keineswegs eine gleiche Dauer. Wenn alle Sonnentage gleich sein sollten, so müsste die Aenderung in der Rectascension der Sonne von einem Tage zum anderen das ganze Jahr hindurch vollkommen gleich bleiben. Das ist aber nicht der Fall, wie man aus der Tabelle auf

S. 78 leicht ersehen kann. Vom 12. bis zum 20. Juli z. B. ändert sich die gerade Aufsteigung der Sonne um 32,3 Zeitminuten, während sie vom 19. bis 27. December um 35,6 Zeitminuten zunimmt, woraus man entnehmen kann, dass die Zeit, welche von einer Culmination der Sonne bis zur folgenden vergeht, im December etwas grösser ist als im Juli.

Zwei Ursachen wirken hier zusammen, um die erwähnte Ungleichheit der Sonnentage hervorzubringen. Diese Ursachen sind:

1) Dass die Ekliptik nicht mit dem Himmelsäquator parallel liegt. Wenn sich auch die Sonne in der Ekliptik mit stets gleicher Geschwindigkeit fortbewegte, so würde doch einem und demselben Wegstücke zur Zeit der Aequinoctien, wo die Sonnenbahn einen bedeutenden Winkel mit dem Aequator bildet, eine geringere Aenderung in der Rectascension entsprechen, als zur Zeit der Solstitien, wo die Sonne fast parallel mit dem Aequator fortschreitet (siehe die Sternkarte Tab. IV.).

2) Dass die Sonne sich auch in der Ekliptik nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegt, sondern zur Zeit unseres Winters schneller fortschreitet, als während unseres Sommers. Um sich davon zu überzeugen, messe man z. B. auf der Sternkarte Tab. IV. den Weg, den die Sonne vom 2. bis zum 26. Juni zurücklegt, und man wird finden, dass er merklich kleiner ist, als das Bahnstück vom 1. bis 25. Januar.

Dasselbe ersieht man auch aus der Tabelle auf Seite 81. Vom 4. bis 12. Juli wächst die Länge der Sonne nur um $7^0\,37{,}6'$, während sie vom 1. bis 9. Januar um $8^0\,9{,}0'$ zunimmt. Am schnellsten wächst die Länge der Sonne am 1. Januar, wo der in 24. Stunden beschriebene Bogen der Ekliptik $1^0\,1'\,10{,}1''$ beträgt, während zur Zeit des langsamsten Fortschreitens, am 1. Juli, der in 24 Stunden von der Sonne beschriebene Bogen nur $57'\,11{,}8''$ beträgt.

Eine Folge davon, dass die Sonne in ihrer Bahn mit ungleicher Geschwindigkeit fortschreitet, ist auch die, dass sie eine längere Zeit braucht, um die nördliche Hälfte der Ekliptik zu durchlaufen, als sie braucht, um vom Herbstpunkte aus zum Frühlingspunkte zurückzukehren. Vom 20. März bis zum 22. September sind 186 Tage, vom 22. September bis zum 20. März sind ihrer nur 179, die Sonne verweilt also auf der nördlichen Halbkugel des Himmels volle sieben Tage länger als auf der südlichen.

Was die Ursache dieser Ungleichheiten ist, werden wir später untersuchen. Hier haben wir es zunächst nur mit der ungleichen Dauer der Sonnentage zu thun.

Es ist klar, dass sich im bürgerlichen Leben alle Zeiteintheilung nach der Sonne richten muss, weil die Abwechselung von Tag und Nacht maassgebend ist für die Eintheilung aller Beschäftigungen des bürgerlichen Lebens, wie ja auch im Thier- und Pflanzenleben die Abwechselung von Tag und Nacht eine bedeutende Rolle spielt.

So lange man noch mit mechanischen Uhren von geringer Genauigkeit zu thun hatte, war kein Anstand, da sie doch öfters gerichtet wer-

den mussten, diese Uhren alle paar Tage nach der Sonne zu stellen; ob man sie einmal etwas schneller, dann wieder langsamer musste laufen lassen, ob man sie etwas mehr oder weniger verstellte, das war gleichgültig. Astronomische Uhren aber, wie überhaupt gute Uhren, bei welchen ein möglichst gleichförmiger Gang die erste Bedingung ist, können unmöglich nach wahrer Sonnenzeit gerichtet werden.

Um aber doch den Sonnentag der Hauptsache nach als Zeiteinheit beizubehalten, und dennoch ein gleichförmiges Zeitmaass zu haben, hat man statt des wahren veränderlichen, einen mittleren Sonnentag von stets gleichbleibender Länge eingeführt. Denkt man sich die Dauer eines gewöhnlichen Jahres von 365 Tagen in 365 vollkommen gleiche Theile getheilt, so ist ein solcher Theil der mittlere Sonnentag.

Eine schärfere Definition des mittleren Sonnentages ist folgende: Denkt man sich eine Sonne, welche mit vollkommen gleichförmiger Geschwindigkeit den Himmelsäquator in derselben Zeit durchläuft, welche die wahre Sonne braucht, um die Ekliptik zu durchlaufen, so ist die Zeit von einer Culmination dieser fingirten oder mittleren Sonne bis zur nächsten der mittlere Sonnentag.

Die wahren Sonnentage sind nun bald etwas länger, bald etwas kürzer, als der mittlere, der wahre Mittag ist also bald etwas vor dem mittleren voraus, bald bleibt er etwas gegen denselben zurück. Der Zeitunterschied zwischen dem mittleren und wahren Mittag wird die Zeitgleichung genannt.

Der numerische Werth der Zeitgleichung für die einzelnen Tage des Jahres hängt davon ab, für welchen Moment man annimmt, dass die fingirte Sonne gleiche Rectascension mit der wahren habe. Man hat für diesen Moment die Zeit angenommen, in welcher die Rectascension der wahren Sonne am schnellsten wächst (24. December), und so ergeben sich denn von acht zu acht Tagen folgende Werthe der Zeitgleichung:

Monatstag	M. Z. — W. Z.	Monatstag	M. Z. — W. Z.	Monatstag	M. Z. — W. Z.
1. Januar	+ 3^m 48^s	1. Mai	— 3^m 3^s	6. Septbr.	— 1^m 47^s
9. „	+ 7 22	9. „	— 3 44	14. „	— 4 33
17. „	+ 10 21	17. „	— 3 49	22. „	— 7 22
25. „	+ 12 34	25. „	— 3 19	30. „	— 10 4
2. Februar	+ 13 57	2. Juni	— 2 17	8. October	— 12 28
10. „	+ 14 28	10. „	— 0 51	16. „	— 14 25
18. „	+ 14 9	18. „	+ 0 50	24. „	— 15 44
26. „	+ 13 6	26. „	+ 2 33	1. Novbr.	— 16 18
6. März	+ 11 24	4. Juli	+ 4 7	9. „	— 16 2
14. „	+ 9 18	12. „	+ 5 20	17. „	— 14 51
22. „	+ 6 56	20. „	+ 6 5	25. „	— 12 47
30. „	+ 4 29	28. „	+ 6 14	3. Decbr.	— 9 56
7. April	+ 2 7	5. August	+ 5 45	11. „	— 6 28
15. „	— 0 1	13. „	+ 4 38	19. „	— 2 36
23. „	— 1 47	21. „	+ 2 56	27. „	+ 1 23
		29. „	+ 0 45		

Das Zeichen + zeigt an, dass der mittlere Mittag früher, das Zeichen —, dass er später ist als der wahre.

Den grössten negativen Werth hat die Zeitgleichung am 3. November, wo sie gleich — $16^m\ 19{,}3^s$ ist; den grössten positiven Werth, + $14^m\ 28{,}4^s$, hat sie am 11. Februar. In der Mitte des Februar ist also der mittlere Mittag fast 1/4 Stunde früher, zu Anfang des November etwas mehr als 1/4 Stunde später, als die Culmination der Sonne.

Ein Uebergang aus dem positiven ins negative Zeichen findet statt am 15. April und 1. September, ein Uebergang aus dem negativen ins positive am 14. Juni und am 25. December.

Bis zum 1. April 1893 bediente man sich in Deutschland allgemein der mittleren Orts- oder Sonnenzeit, die man mit Hülfe der Zeitgleichung jederzeit leicht aus Sonnenbeobachtungen oder den Angaben einer guten Sonnenuhr, welche immer wahre Ortszeit angiebt, ableiten konnte.

Vom 1. April 1893 an ist dagegen in ganz Deutschland eine einheitliche mittlere Zeit eingeführt, und zwar diejenige des Meridians, welcher genau eine Stunde = 15° östlich von dem durch die Sternwarte in Greenwich gehenden Meridian liegt. An die mittlere Ortszeit, wie sie sich aus Sonnenbeobachtungen unter Berücksichtigung der Zeitgleichung ergiebt, ist seitdem für verschiedene Orte noch folgende Reduction anzubringen, um die Einheitszeit (mitteleuropäische Zeit) zu erhalten:

Berlin . . .	+ 6^m	$25{,}1^s$	Kiel	+ 19^m	$24{,}3^s$
Bonn . . .	+ 31	36,7	Königsberg .	— 21	59,1
Breslau . . .	— 8	8,9	Leipzig . . .	+ 10	26,0
Göttingen . .	+ 20	13,6	München . .	+ 13	33,9
Hamburg . .	+ 20	6,2	Strassburg . .	+ 28	55,3

Diese Zahlen sind die in Zeit ausgedrückten Längendifferenzen der Orte von demjenigen Meridian, welcher 15° östlich von Greenwich liegt, positiv genommen, wenn sie sich westlich, und negativ, wenn sie sich östlich von ihm befinden.

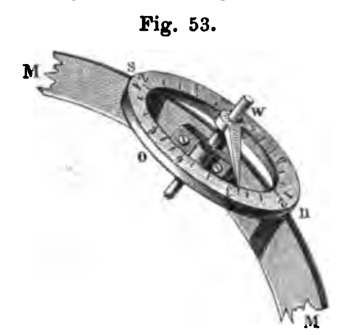
Anblick des Himmels in den Nachtstunden verschiedener Monate. 27 Jetzt, da wir die Wanderung der Sonne durch die Sternbilder des Thierkreises kennen gelernt haben, ergiebt es sich von selbst, warum man zu derselben Stunde der Nacht in verschiedenen Monaten nicht dieselben Sternbilder an derselben Stelle des Himmels erblickt, wie dies bereits besprochen wurde. Welche Sterne in einer gegebenen Stunde eines gegebenen Tages culminiren, ist aber leicht zu ermitteln, wenn man die Rectascension der Sonne für diesen Tag kennt. Man hat nämlich nur vom Stundenkreise, welchem für diesen Tag die Sonne angehört, auf dem Aequator so viele Stunden weiter nach Osten zu zählen, als seit der Culmination der Sonne verflossen sind. Es wird z. B. gefragt, welche Sterne culminiren am 24. October Abends 7 Uhr? Am 24. October ist die Rectascension der Sonne $13^h\ 54^m$. Um 7 Uhr Abends sind 7 Stunden vergangen, seit die Sonne durch den Meridian ging, es culminiren also um diese Zeit diejenigen Sterne, deren gerade

Aufsteigung $13^h\ 54^m + 7^h = 20^h\ 54^m$ ist. Das Sternbild des Delphins und α Cygni haben also ungefähr vor 17 Minuten den Meridian passirt, da ihre Rectascension $20^h\ 37^m$ ist.

Welches der Anblick des Himmels zu einer gegebenen Zeit ist, lässt sich am leichtesten mit Hülfe eines Himmelsglobus übersehen, wenn derselbe mit einem sogenannten Stundenringe versehen ist. In Fig. 4, Seite 9, ist der Stundenring des kleinen Maassstabes wegen ganz weggelassen, die Einrichtung desselben ist aber aus Fig. 53 zu ersehen.

Der Stundenring *swno* ist auf dem messingenen Meridianringe *MM* befestigt und in 24 gleiche Theile getheilt, welche den einzelnen Stunden entsprechen. Die Theilstriche bei *s* und *n* sind mit 12 bezeichnet und dann die Stunden von *s* über *w* bis *n* und von *n* über *o* bis *s* gezählt.

Fig. 53.



Die Axe, um welche sich der ganze Globus dreht, befindet sich im Mittelpunkte dieses Stundenringes und trägt einen Zeiger, welcher auf derselben feststeckt, aber sich mit einiger Reibung um denselben drehen lässt.

Um nun den Globus einer gegebenen Zeit entsprechend zu stellen, dreht man ihn zunächst so, dass der Ort des Himmels, an welchem die Sonne eben steht, gerade unter den Meridianring *M* zu stehen kommt, stellt dann den Zeiger auf 12 Uhr Mittags (den mit 12 bezeichneten Theilstrich bei *s*) und dreht nun den ganzen Globus sammt dem Zeiger so weit, bis letzterer die fragliche Stunde zeigt.

Soll z. B. der Globus so gestellt werden, wie es dem 17. Mai Abends 10 Uhr entspricht, so stellt man den Globus so, dass der auf dem Aequator mit $3^h\ 37^m$ bezeichnete Punkt (Rectascension der Sonne am genannten Tage nach der Tabelle auf S. 78), also der Punkt des Aequators, welcher $54{,}3^0$ östlich vom Frühlingspunkte liegt, gerade im Meridian steht, dass also die Plejaden culminiren, und dreht dann die Kugel sammt Zeiger um 10 Stunden, die man auf dem Stundenringe abliest, nach Westen. Man sieht dann, dass das Sternbild der Jungfrau im Süden culminirt (Spica steht fast im Meridian), und dass die Sternbilder Cassiopeia und Andromeda den Meridian in unterer Culmination passiren; der grosse Löwe steht am südwestlichen, Leyer und Schwan am nordöstlichen Himmel.

28 **Bestimmung des Stundenwinkels eines Sternes für einen gegebenen Augenblick.** In vielen Fällen ist es wichtig, aus den Angaben der astronomischen Jahrbücher für jeden gegebenen Zeitpunkt den Stundenwinkel eines Sternes, d. h. den Winkel berechnen zu können, welchen der Declinationskreis des Sternes mit dem Meridian macht.

Es sei nun

T die Sternzeit in dem Moment des mittleren Mittags an einem gegebenen Tage;

a die Rectascension eines gegebenen Sternes; so ist:

$T-a$ der Winkel, um welchen der Declinationskreis des Sternes zur Zeit des mittleren Mittags westlich vom Meridian liegt.

Um n Uhr, d. h. n Stunden mittlerer Sonnenzeit, oder $n\,\frac{366}{365}$ Stunden Sternzeit nach dem mittleren Mittag, ist der Stundenwinkel S des Sternes noch um $n\,\frac{366}{365}$ Stunden grösser, also

$$S = T - a + n\,\frac{366}{365}.$$

Man fragt z. B., welches war zu Berlin am 1. März 1885 Abends 8 Uhr der Stundenwinkel von α Leonis? Nach dem astronomischen Jahrbuche ist für diesen Fall

$$a = 10^h\ 2^m\ 17^s$$
$$T = 22^h\ 37^m\ 40^s \qquad n = 8^h$$

und danach ergiebt sich

$$S = 20^h\ 36^m\ 42^s,$$

d. h. in dem fraglichen Moment steht zu Berlin α Leonis $20^h\ 36^m\ 42^s$ westlich, oder, was dasselbe ist, $3^h\ 23^m\ 18^s$ (in Bogentheilen ausgedrückt, $50^0\ 49'\ 30''$) östlich vom Meridian.

Wollte man also zu Berlin am 1. März 1885 das Fernrohr eines Aequatorealinstrumentes so richten, dass Abends 8 Uhr α Leonis im Gesichtsfelde erscheint, so hätte man den Aequatoreal- oder Stundenkreis auf $309^0\ 10'$ zu stellen, vorausgesetzt, dass der Index dieses Kreises auf Null zeigt, wenn das Fernrohr sich in der Ebene des Meridians befindet, und die Theilung vom Meridian nach Westen gezählt wird. Den Declinationskreis des Instrumentes aber hätte man auf $12^0\ 31'\ 29''$ zu stellen, weil dies die nördliche Abweichung α Leonis war.

Im Berliner Astronomischen Jahrbuch ist für jeden Tag die Sternzeit im mittleren Berliner Mittage gegeben. Da dieselbe sich von Tag zu Tag immer um denselben Betrag ändert, so kann man sich leicht eine Tabelle einrichten, aus der man diese Grösse entnehmen kann. Im Folgenden ist eine solche Tabelle für die Jahre 1880 bis 1900 gegeben.

Tafel der Sternzeit im mittleren Mittag.

Tafel I.		Tafel II.			
Jahr	Epochen	Tage	Bewegung	Tage	Bewegung
1880	18h 38m 1s	0	0h 0m 0s	190	12h 29m 6s
1881	41 0	10	0 39 26	200	13 8 31
1882	40 3	20	1 18 51	210	13 47 57
1883	39 6	30	1 58 17	220	14 27 22
1884	38 8	40	2 37 42	230	15 6 48
1885	41 7	50	3 17 8	240	15 46 13
1886	40 9	60	3 56 33	250	16 25 39
1887	39 12	70	4 35 59	260	17 5 4
1888	38 14	80	5 15 24	270	17 44 30
1889	41 13	90	5 54 50	280	18 23 55
1890	40 16	100	6 34 15	290	19 3 21
1891	39 19	110	7 13 41	300	19 42 47
1892	38 21	120	7 53 7	310	20 22 12
1893	41 21	130	8 32 32	320	21 1 38
1894	40 24	140	9 11 58	330	21 41 3
1895	39 27	150	9 51 23	340	22 20 29
1896	38 30	160	10 30 49	350	22 59 54
1897	41 29	170	11 10 14	360	23 39 20
1898	40 32	180	11 49 40	370	24 18 45
1899	39 35				
1900	38 38				

Tafel zur Verwandlung der Monatstage in Tage des Jahres			Proportionaltheile zu Tafel II	
Monate	Gew. Jahr	Schaltjahr	Tage	Bewegung
Januar 0	0	0	1	3m 57s
Februar 0	31	31	2	7 53
März 0	59	60	3	11 50
April 0	90	91	4	15 46
Mai 0	120	121	5	19 43
Juni 0	151	152	6	23 39
Juli 0	181	182	7	27 36
August 0	212	213	8	31 32
September 0 . . .	243	244	9	35 29
October 0	273	274		
November 0 . . .	304	305		
December 0 . . .	334	335		

Es werde die Sternzeit im mittleren Berliner Mittage für den 27. Mai 1890 gesucht. Aus der Tafel zur Verwandlung der Monatstage in Tage des Jahres sehen wir, dass der 27. Mai der 147. Tag des Jahres ist. Wir haben nun nach

Tafel I. Arg. = 1890	. . . .	$18^h\ 40^m\ 16^s$
Tafel II. Arg. 140	. . . .	9 11 58
Prop.-Th. für 7 Tage	. . . .	27 36
T = Sternzeit im m. Mittag =		$4^h\ 19^m\ 50^s$.

Für den 1. März 1885 ergiebt sich $T = 22^h\ 37^m\ 40^s$, wie oben angegeben. Will man die Sternzeit im mittleren Mittage nicht für den Berliner Meridian, sondern denjenigen eines anderen Ortes haben, so ist zu berücksichtigen, dass an westlich gelegenen Orten die Culmination der mittleren (ebenso wie der wahren) Sonne später, und an östlich gelegenen Orten früher stattfindet, als in Berlin; folglich muss für westlich gelegene Orte die Sternzeit im mittleren Mittage grösser und für östlich gelegene Orte kleiner sein, als in Berlin. Wollte man also für irgend einen westlich von Berlin gelegenen Ort den Stundenwinkel eines Sternes für einen gegebenen Zeitpunkt berechnen, so dürfte man in den obigen Werth von S nicht den Werth von T setzen, wie ihn die Berliner Ephemeriden angeben, sondern man müsste an diesem Werthe noch eine Correction anbringen, welche von der geographischen Länge des Ortes abhängt.

In 24 Stunden nimmt die Rectascension der Sonne im Durchschnitt um $0{,}986^0$, in einer Stunde also um $\frac{0{,}986^0}{24}$ zu. Für jeden Ort, dessen wahrer Mittag eine Stunde später ist als Berlin, wird demnach die Rectascension der Sonne zur Zeit des wahren Mittags $\frac{0{,}986}{24}$ Grad grösser sein, als es die Berliner Ephemeriden angeben. Für 1 Längengrad beträgt dieser Unterschied der Rectascension 9,86 Bogensecunden oder 0,657 Zeitsecunden, für $1^1/_2$ Längengrade oder 6 Zeitminuten Zeitunterschied genähert 1 Zeitsecunde.

Hiernach können wir nun für jeden Tag und jeden Ort eine gegebene Sternzeit in mittlere Zeit und umgekehrt verwandeln.

Es sei 1. März 1885 $6^h\ 25^m\ 3^s$ Königsberger Sternzeit in mittlere Zeit zu verwandeln. Wir fanden für diesen Tag die Sternzeit im Berliner mittleren Mittag $= 22^h\ 37^m\ 40^s$. Da Königsberg östlich von Berlin liegt, und der Zeitunterschied nach S. 60 $28{,}4^m$ beträgt, so haben wir von der obigen Grösse den Betrag $\frac{28{,}4}{6} = 4{,}7$ Zeitsecunden abzuziehen, und erhalten für die Sternzeit im Königsberger mittleren Mittag

$$T = 22^h\ 37^m\ 35^s,$$

dies abgezogen von $6^h\ 25^m\ 3^s$,

ergiebt $7^h\ 47^m\ 28^s$

als die Sternzeit, welche seit dem mittleren Mittage verflossen ist. Die Reduction auf mittlere Zeit ist nach der Tafel auf S. 83 und 84

$$= -\ 1^m\ 17^s,$$

folglich ist die mittlere Zeit

$$= 7^h\ 46^m\ 11^s.$$

Es sei umgekehrt 1. März 1885 $7^h\ 46^m\ 11^s$ mittlere Königsberger Zeit in Sternzeit zu verwandeln. Die Reduction auf Sternzeit beträgt nach der Tafel auf S. 83 und 84

$$+\ 1^m\ 17^s,$$

$$\text{hierzu addirt } \underline{7^h\ 46^m\ 11^s,}$$

$$7^h\ 47^m\ 28^s$$

ergiebt die seit dem mittleren Mittage verflossene Sternzeit. Dazu die Sternzeit im mittleren Mittage

$$T = \underline{22^h\ 37^m\ 35^s}$$

$$\text{addirt, ergiebt: Sternzeit} = \ 6^h\ 25^m\ \ 3^s.$$

29 **Zeitbestimmung durch Culminationsbeobachtungen.** Eine Zeitbestimmung machen heisst eigentlich nichts weiter, als den Fehler der Angabe einer Uhr durch astronomische Beobachtungen zu ermitteln.

Für eine Uhr, welche genau nach mittlerer Sonnenzeit (Ortszeit) geht, haben wir

$$UZ - MZ = 0,$$

wenn man mit UZ die Uhrzeit, mit MZ die mittlere Zeit bezeichnet. Geht aber die Uhr um die Zeit t vor, so ist

$$UZ - MZ = t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Ist ferner WZ die wahre Sonnenzeit und c die Zeitgleichung, also $MZ = WZ + c$, so haben wir

$$UZ - WZ - c = t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Für den Moment der Sonnenculmination ist $WZ = 0$, also

$$UZ - c = t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Ginge die Uhr vollkommen richtig, so müsste sich $t = 0$ ergeben. Ergiebt sich aber ein positiver Werth von t, so ist die Uhrzeit grösser als sie sein sollte, die Uhr geht also gegen Ortszeit vor, während ein negativer Werth von t ein Nachgehen der Uhr gegen Ortszeit andeutet.

Einige Beispiele mögen dies erläutern.

Am 14. März zeige die Uhr im Moment, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Meridian passirt, $11^m\ 18^s$ über 12 Uhr, so ist $UZ = 11^m\ 18^s$. Nach der Tabelle auf S. 86 ist für den 14. März $c = 9^m\ 18^s$, folglich haben wir:

$$UZ - c = 11^m\ 18^s - 9^m\ 18^s = 2^m\ 0^s;$$

die Uhr geht also 2 Minuten 0 Secunden gegen Ortszeit vor.

Hätte am 5. August eine Uhr im Augenblicke der Sonnenculmination $3^m\ 40^s$ über 12 Uhr gezeigt, so hätten wir

$$UZ - c = 3^m\ 40^s - 5^m\ 45^s = -\ 2^m\ 5^s;$$

die Uhr geht 2 Minuten 5 Secunden gegen Ortszeit zu spät.

Hätte man ferner die Sonnenculmination am 9. November beobachtet und gefunden, dass sie stattfand, als die Uhr $11^h\ 46^m\ 22^s$ Vormittags zeigte, so ist $UZ = -(13^m\ 38^s)$, weil man offenbar die Zeit vom Mittag rückwärts negativ zählen muss. Für den 9. November ist $c = -(16^m\ 2^s)$ (Tab. S. 86), also

$$UZ - c = -(13^m\ 38^s) + (16^m\ 2^s) = 2^m\ 24^s;$$

die Uhr geht also $2^m\ 24^s$ gegen Ortszeit vor.

Die Culmination der Sonne kann man entweder an einem Gnomon oder genauer an einem im Meridian aufgestellten Fernrohr beobachten.

Die Sonne erlaubt keine so scharfe Beobachtung der Culminationszeit wie ein Stern, deshalb ist für eine genaue Zeitbestimmung die Sternbeobachtung der Sonnenbeobachtung vorzuziehen, nur ist die Berechnung für die Sternbeobachtung etwas umständlicher.

Für den Fall, dass man eine Zeitbestimmung mittelst einer Sternculmination machen will, benutzt man die Gleichung (1). UZ ist in diesem Falle die Zeit, welche die Uhr im Moment der Culmination des beobachteten Sternes zeigt, MZ ist der nach mittlerer Zeit gemessene Zeitraum, welcher zwischen der Culmination der mittleren Sonne und der Culmination des Sternes liegt.

Haben a und T dieselbe Bedeutung wie auf S. 88, so ist $a - T$ der Stundenwinkel, um welchen der Stern im Moment des wahren Mittags noch östlich vom Meridian absteht. $a - T$ Sternstunden oder $a - T$ $\frac{365}{366}$ mittlere Sonnenstunden nach dem mittleren Mittag wird also der Stern culminiren, oder mit anderen Worten, zur Zeit der Sternculmination ist $MZ = (a - T)\frac{365}{666}$, also

$$UZ - (a - T)\frac{365}{366} = t \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Hat man z. B. am 23. April 1890 in Königsberg beobachtet, dass die Uhr $4^h\ 40^m\ 10^s$ in dem Augenblicke zeigt, in welchem Sirius culminirt, so hat man

$UZ =$	4^h	40^m	10^s,	
$T =$	2	5	42	(S. 89 und 90),
$a =$	6	40	17	
$a - T =$	4	34	35	
Red. a. m. Zt.		—	45	
$MZ =$	4^h	33^m	50^s	

und es ergiebt sich

$$t = 6^m\ 20^s;$$

die Uhr geht also $6^m\ 20^s$ gegen Ortszeit vor.

Um den Fehler der Uhr gegen die mitteleuropäische Zeit zu erhalten, ist noch die in §. 26 erwähnte, von der geographischen Länge des Beobachtungsortes abhängige Reduction anzubringen.

30 **Zeitbestimmung durch correspondirende Höhen.** Die im vorigen Paragraphen besprochene Methode der Zeitbestimmung ist nur anwendbar, wenn der Meridian des Beobachtungsortes bestimmt ist.

Durch die Beobachtung correspondirender Höhen vor und nach der Culmination kann man aber die Uhrzeit der Culmination eines Gestirnes auch ermitteln, ohne dass der Meridian bestimmt ist.

Beobachtet man, dass ein Stern, auf der Ostseite des Himmels aufsteigend, die Höhe h in dem Augenblicke erreicht, in welchem die Uhr die Zeit T zeigt, dass er, auf der Westseite des Himmels niedergehend, dieselbe Höhe h wieder zur Uhrzeit T' passirt, so ist offenbar die Uhrzeit seiner Culmination das Mittel zwischen den beiden beobachteten Zeiten, also $\frac{T + T'}{2}$.

Hätte z. B. ein Stern die Höhe von $32^0\ 17'$ im Aufsteigen um $6^h\ 18^m\ 42^s$ Uhrzeit, im Niedergehen aber zur Uhrzeit $10^h\ 33^m\ 20^s$ passirt, so wäre die Uhrzeit der Culmination dieses Sternes $8^h\ 26^m\ 1^s$.

Wenn man diese Beobachtungsmethode anwenden will, um die Uhrzeit einer Sonnenculmination zu ermitteln, so muss man die Veränderung der Declination der Sonne, welche zwischen den beiden Beobachtungen stattfindet, in Rechnung bringen.

31 **Zeitbestimmung durch einfache Sonnenhöhen.** Da ein jedes Gestirn in Folge seiner täglichen Bewegung seine Höhe stetig ändert, und da es eine gewisse Höhe immer zu einer bestimmten Zeit passirt, so muss auch eine einzige Höhenmessung hinreichen, um eine Zeitbestimmung zu machen.

Zunächst kommt es darauf an, aus der beobachteten Höhe eines Gestirnes seinen Stundenwinkel S, d. h. den Winkel zu berechnen, welchen der Declinationskreis PC, Fig. 54, des Gestirnes E mit dem Meridian PZA macht.

Ausser der beobachteten Höhe HE muss zur Lösung dieser Aufgabe noch die Declination CE des Gestirnes und die Aequatorhöhe SA des Beobachtungsortes bekannt sein.

Der gesuchte Stundenwinkel CA, den wir mit S bezeichnen wollen, ist der Winkel, den die Ebenen PCM und PAM mit einander machen. Dieser Winkel ist aber offenbar auch ein Winkel des sphärischen Dreiecks PZE, und zwar derjenige, welchen die Seiten PZ und PE dieses Dreiecks mit einander machen. In diesem Dreieck sind aber alle drei Seiten bekannt; es ist nämlich

$PZ = SA = 90^0 - ZA$; ZA ist aber gleich der Polhöhe oder der geographischen Breite des Beobachtungsortes, die wir mit φ bezeichnen wollen, also $PZ = 90^0 - \varphi$;

$PE = p$, die Poldistanz des beobachteten Gestirnes E; sie ist offenbar $= 90^0 - CE$, gleich 90^0 weniger der bekannten Declination δ des Gestirnes;

$ZE = z$, die Zenithdistanz des Gestirnes, welche $90^0 - HE$, d. h. 90^0 weniger der beobachteten Höhe ist.

Dann ergeben die Formeln der sphärischen Trigonometrie die Gleichung:

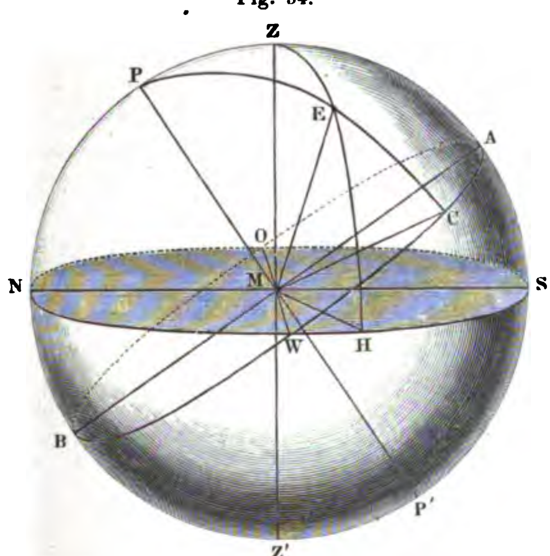
$$tg\, {}^1/_2\, S^2 = \frac{sin\, {}^1/_2\, [z - (\varphi - \delta)]\, sin\, {}^1/_2\, [z + (\varphi - \delta)]}{cos\, {}^1/_2\, [z - (\varphi + \delta)]\, cos\, {}^1/_2\, [z + (\varphi + \delta)]} \qquad (1)$$

Nehmen wir z. B. an, man habe zu Freiburg ($\varphi = 48^0\ 0'$) am 15. Juni Vormittags die Sonnenhöhe 39^0 beobachtet, so haben wir

$$\varphi = 48^0\ \ 0'$$
$$\delta = 23^0\ 20',$$

da am 15. Juni die Declination der Sonne $23^0\ 20'$ ist.

Fig. 54.



Setzen wir für z, φ und δ ihre eben angegebenen Zahlenwerthe in die Gleichung (1), so ergiebt sich

$$S = 56^0\ 57'\ 42''.$$

Dieser Winkel, in Zeitmaass ausgedrückt, giebt nun die Zeit, welche die Sonne braucht, um in den Meridian zu gelangen, oder, wenn man eine Nachmittagsbeobachtung gemacht hatte, die Zeit, welche seit der Sonnenculmination verstrichen ist. Bezeichnet man mit c die Zeitgleichung, so ist

$$MZ = 12^h - S - c$$

die mittlere bürgerliche Zeit des Beobachtungsmomentes, wenn man die Höhenbestimmung des Morgens gemacht hat, und

$$MZ = S + c,$$

wenn es sich um eine Nachmittagsbeobachtung handelt.

Nehmen wir das obige Beispiel wieder auf, so ist $S = 56^0\ 57'\ 42''$, in Zeit ausgedrückt, $3^h\ 47^m\ 51^s$, also

$$MZ = 12^h - (3^h\ 47^m\ 51^s) = 8^h\ 12^m\ 9^s \text{ Morgens}$$

die Zeit des Beobachtungsmomentes, da für den 15. Juni die Zeitgleichung nur Bruchtheile einer Secunde beträgt, also für Zwecke des bürgerlichen Lebens vernachlässigt werden kann.

Gehen wir zu einem anderen Beispiele über. Am 4. März 1855 fand man zu Freiburg in dem Augenblicke, in welchem die Uhr Nachmittags $1^h\ 58^m\ 36^s$ zeigte, die Höhe des Sonnenmittelpunktes gleich 30^0; wir haben also

$$\varphi = 48^0\ 0'$$
$$\delta = -\ 6^0\ 32'\ 55'',$$

da am genannten Tage die Declination der Sonne — $(6^0\ 32'\ 55'')$ beträgt.

Aus diesen Daten ergiebt sich

$$S = 28^0\ 26' = 1^h\ 53^m\ 44^s.$$

Da nun für den fraglichen Tag $c = 12^m\ 2^s$ war, so ist die mittlere Zeit des Beobachtungsmomentes

$$MZ = 2^h\ 5^m\ 46^s.$$

Da aber die Uhr $1^h\ 58^m\ 36^s$ zeigte, so ergiebt sich, dass diese Uhr um $7^m\ 10^s$ nachging.

Um Sonnenhöhen so genau zu messen, als es zur Bestimmung der Zeit für das bürgerliche Leben erforderlich ist, genügen einfachere Instrumente als die, welche wir früher kennen lernten; gewöhnlich wendet man in diesem Falle den Sextanten an.

Fig. 55.

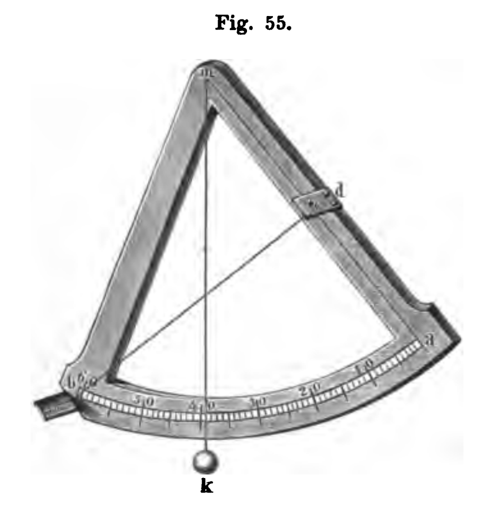


Fig. 55 zeigt einen Sextanten der einfachsten Art. Er besteht im Wesentlichen aus einem getheilten Sechstelkreis (daher der Name), welcher mit zwei Radien ein Dreieck bildet. *m* ist der Mittelpunkt des getheilten Bogens. An dem Schenkel *ma*, welcher dem Nullpunkt der Theilung entspricht, ist ein Messingplättchen *d* so befestigt, dass ein von der gegenüberstehenden Spitze *b* auf *ma* gefälltes Perpendikel gerade die Mittellinie dieses Plättchens trifft. Parallel mit diesem ist bei *b* ein zweites Messingplättchen angebracht.

In der Mitte des Plättchens *b* ist eine Linie eingeritzt, während *d* ein kleines rundes Loch enthält. Von *m* hängt ein Faden herab, welcher eine Bleikugel *k* trägt.

Hält man nun das Instrument so, dass seine Ebene in die Verticalebene der Sonne und der Schatten von *d* gerade auf *b* fällt (was man daran erkennt, dass die Sonnenstrahlen, welche durch die kleine Oeffnung in *d* fallen, einen hellen Fleck auf der Mittellinie von *b* bilden), so kann man auf dem getheilten Kreise die Höhe der Sonne ablesen. Es ist nämlich *bd* die Richtung der Sonnenstrahlen. Der Winkel aber, welchen *bd* mit der Horizontalen macht, ist gleich dem Winkel *amk*, da *am* auf *bd* und *mk* auf der Horizontalen rechtwinklig steht; der Bogen von *a* bis zum Bleiloth misst also die Sonnenhöhe.

Da es schwierig ist, den Sextanten in freier Hand sicher genug zu halten, so wird er in der Regel mit einem passenden Stativ versehen, welches eine feste Aufstellung erlaubt.

Solche Sextanten von 6 bis 8 Zoll Radius sind in der Regel von Holz mit aufgeklebter Papierscala.

Eine sehr zweckmässige Einrichtung hat Eble dem Sextanten gegeben. Bei einem Halbmesser von 13 Zoll ist der Bogen unmittelbar in $^1/_2$ Grade eingetheilt.

Die gemessenen Sonnenhöhen bedürfen noch, bevor man sie in die Rechnung einführen kann, einer Correction wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung, welche wir erst im zweiten Buche werden kennen lernen. Die Theilung des Eble'schen Sextanten ist so eingerichtet, dass man unmittelbar die corrigirte Höhe ablesen kann.

Aus den beobachteten Sonnenhöhen den Stundenwinkel zu berechnen, ist immerhin eine etwas langwierige und für Manchen auch schwierige Arbeit. Deshalb hat bereits gegen Ende des vorigen Jahrhunderts Fr. Chr. Müller Tafeln berechnet, in welchen man für Orte vom 47. bis 54. Breitengrade für die von Grad zu Grad fortschreitenden Sonnenhöhen die entsprechende Zeit aufschlagen kann.

Müller's Sonnentafeln, welche zuerst zu Leipzig im Jahre 1791 erschienen, leiden an mehrfachen Uebelständen, vermöge deren die aus ihnen entnommene Zeit bis auf 10 Minuten unrichtig sein kann. Sehr sinnreich hat Eble die Aufgabe, aus den beobachteten Sonnenhöhen die Zeit abzuleiten, auf graphischem Wege mittelst eines sogenannten astronomischen Netzes gelöst, welches sehr empfohlen zu werden verdient (Neues Zeitbestimmungswerk von Eble, Ellwangen 1853). Man kann nach dieser Methode mittelst des Eble'schen Sextanten und Netzes die Zeit bis auf $^1/_2$ Minute genau finden.

Es versteht sich von selbst, dass man auch einfache Sternhöhen zur Zeitbestimmung anwenden kann.

Die Sonnenuhr. Die einfachste Methode der Zeitbestimmung 32
ist wohl die mittelst der Sonnenuhr, welche im Wesentlichen aus einem

parallel mit der Weltaxe befestigten Stabe und aus einer Fläche besteht, welche bei Sonnenschein den Schatten jenes Stabes auffängt. Der Stab bildet die Axe, um welche sich die Schattenebene mit derselben Geschwindigkeit umdreht, mit welcher die Sonne am Himmel fortschreitet, d. h. sie dreht sich in jeder Stunde um 15 Grad. Zu gleichen Tageszeiten d. h. gleich viel Stunden vor oder gleich viel Stunden nach der Culmination der Sonne, wird also die Schattenebene stets dieselbe Lage haben, und aus der Lage der Schattenebene, also auch aus der Lage des Stabschattens auf einer gegen den Stab unveränderlich festen Ebene kann man auf die Zeit schliessen.

Die Ebene, welche den Schatten auffängt, ist gewöhnlich eine verticale Wand oder eine horizontale Platte, auf welcher die Linien gezogen sind, auf welche der Stabschatten 1, 2, 3 u. s. w. Stunden vor, und 1, 2, 3 u. s. w. Stunden nach dem wahren Mittag fallen muss.

Fig. 56.

Fig. 57.

Fig. 56 stellt eine Sonnenuhr mit verticaler schattenauffangender Wand (mit verticalem Zifferblatte) dar.

Bei kleinen Sonnenuhren ist häufig der schattengebende Stab durch eine verticale Metallplatte ersetzt, deren oberer geradliniger Rand die Richtung der Weltaxe hat. Fig. 57 stellt eine derartige kleine Sonnenuhr mit horizontalem Zifferblatte dar.

Eine Sonnenuhr giebt natürlich nur wahre Sonnenzeit; um nach ihr die mittlere Zeit zu bestimmen, muss man die Zeitgleichung nach der Tabelle auf S. 86, sowie die Reduction auf mitteleuropäische Zeit in Rechnung bringen.

Eine grosse Genauigkeit ist von einer derartigen Sonnenuhr begreiflicherweise nicht zu erwarten.

33 **Bestimmung des Frühlingspunktes.** Da die Rectascension aller Gestirne auf dem Aequator vom Frühlingspunkte an gezählt wird

(S. 29), so ist es von der grössten Wichtigkeit, dass nicht allein die Lage dieses Punktes, sondern auch der Moment genau bestimmt werde, in welchem der Mittelpunkt der Sonne denselben passirt.

Um den Zeitpunkt zu erhalten, in welchem die Sonne durch den Frühlingspunkt geht, bedarf es nichts weiter, als dass man an den Mittagen vor und nach diesem Durchgang die Höhe der Sonne im Meridian mit möglichster Genauigkeit misst.

Man hat z. B. zu Wien, für welchen Ort die Aequatorhöhe $41^0\,47'\,24''$ beträgt, im Jahre 1830 die Höhe des Sonnenmittelpunktes zur Zeit des wahren Mittags gefunden:

am 20. März $41^0\,32'\,13''$
am 21. März 41 55 54.

Daraus folgt, dass der Durchgang der Sonne durch den Aequator in der Zeit zwischen dem Mittage des 20. und des 21. März erfolgt ist.

In dieser Zwischenzeit von 24 Stunden hat die Höhe der Sonne um

$$23'\,41''$$

zugenommen. Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Höhe der Sonne noch um $15'\,11''$ geringer als die Aequatorhöhe von Wien oder mit anderen Worten, die südliche Declination der Sonne betrug $15'\,11''$.

Da man nun weiss, dass am genannten Tage die Declination der Sonne in 24 Stunden um $23'\,41''$ zunimmt, und man ohne merklichen Fehler in der Zwischenzeit die Zunahme der Declination als gleichförmig annehmen kann, so hat man zur Berechnung des Zeitpunktes, in welchem der Mittelpunkt der Sonne den Aequator erreicht, die Proportion

$$23'\,41'' : 24^h = 15'\,11'' : x^h,$$

woraus folgt $x = 15{,}386$ Stunden oder $15^h\,23^m\,10^s$, d. h. der Durchgang des Sonnenmittelpunktes durch den Frühlingspunkt fand also im Jahre 1830 $15^h\,23^m\,10^s$ nach dem wahren Mittag des 20. März statt.

Um aber auch genau den Ort des Frühlingspunktes zu bestimmen, hat man an den genannten Tagen auch noch die Zeit der Culmination der Sonne und irgend eines Fixsternes zu beobachten. Man hat z. B. 1830 zu Wien beobachtet

	Culmination der Sonne	Culmination α Arietis
am 20. März	0^h	$1^h\,59^m\,59^s$
am 21. März	0^h	$1^h\,56^m\,21^s$,

so ist klar, dass die Rectascension der Sonne vom wahren Mittag des 20. März bis zum wahren Mittag des 21. März, also in 24 Stunden, um $3^m\,38^s$ gewachsen ist. Um zu finden, wie viel sie in $15^h\,23^m\,10^s$ zunimmt, haben wir also die Gleichung

$$24^h : 0^h\,3^m\,38^s = 15^h\,23^m\,10^s : x,$$

woraus $x = 0^h\,2^m\,19^s$.

Zur Zeit des wahren Mittags am 20. März war die Rectascensionsdifferenz zwischen Sonne und α Arietis $1^h\ 59^m\ 59^s$. Zur Zeit, in welcher die Sonne den Frühlingspunkt erreichte, war diese Differenz um $2^m\ 19^s$ kleiner, sie war also

$$1^h\ 57^m\ 40^s.$$

Dies ist nun die Rectascension von α Arietis im Jahre 1830, wodurch dann die Lage des Frühlingspunktes für diese Zeit, d. h. der Winkel genau bestimmt ist, welchen der Aequinoctialcolur mit dem Declinationskreise des Sternes α Arietis macht.

Man bezeichnet mit dem Namen des tropischen Jahres die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen der Sonne durch den Frühlingspunkt. Die Dauer des tropischen Jahres beträgt

$$365{,}24224 \text{ Tage}$$

oder

$$365 \text{ Tage } 5^h\ 48^m\ 51^s,$$

was etwas weniger als $365\frac{1}{4}$ Tage ist.

34 **Der Kalender.** Das bürgerliche Jahr muss natürlich stets aus einer ganzen Anzahl von Tagen bestehen. Dadurch entsteht aber ein Unterschied zwischen dem bürgerlichen und dem tropischen Jahre, welcher jedoch durch besondere Bestimmungen der Kalenderrechnung, die wir sogleich näher betrachten wollen, wieder ausgeglichen werden kann.

Das bürgerliche Jahr der alten Aegypter betrug stets 365 Tage, sie nahmen also das Jahr stets $\frac{1}{4}$ Tag zu kurz an, und dieser Fehler musste sich im Laufe der Zeit so anhäufen, dass derselbe Kalendertag allmählich durch alle Jahreszeiten hindurchlief. Fiel z. B. zu einer bestimmten Zeit der 21. März mit dem Frühlingsäquinoctium zusammen, so musste nach 4 Jahren das Frühlingsäquinoctium auf den 22., nach 40 Jahren auf den 31. März und nach 365 Jahren auf den 22. Juni fallen. Der 21. März fiel also nach 365 Jahren mit dem Wintersolstitium zusammen.

Um diesem Uebelstande abzuhelfen und um zugleich den in jener Zeit sehr in Unordnung gekommenen römischen Kalender wieder in Ordnung zu bringen, verordnete Julius Cäsar im Jahre 45 v. Chr. eine Reform des Kalenders, welche darin bestand, dass das gemeine Jahr zu 365 Tagen gerechnet, dass aber alle 4 Jahre ein Tag eingeschaltet werden sollte, so dass das vierte Jahr stets 366 Tage hatte. Diese Jahre von 366 Tagen werden Schaltjahre genannt. Während der Februar eines gemeinen Jahres nur 28 Tage hat, so hat derselbe Monat in einem Schaltjahre 29 Tage.

Die Jahresdauer, wie sie Julius Cäsar angenommen hatte, nämlich $365\frac{1}{4}$ Tage, war noch nicht genau, sie war noch um 0,00776 Tage zu gross und daraus ergiebt sich ein Fehler von 0,776 Tagen in 100 Jahren, also nahe 3 Tagen in 400 Jahren. Der julianische Kalender hat also in 400 Jahren ungefähr 3 Tage zu viel.

Durch das Concilium von Nicäa wurde die Bestimmung getroffen, dass das Osterfest stets am ersten Sonntag gefeiert werden sollte, welcher dem ersten Vollmond nach dem Frühlingsäquinoctium folgt. — Zur Zeit dieses Conciliums, im Jahre 325, fiel die Frühlings-Tag- und Nachtgleiche auf den 21. März. — Man fuhr nun fort, nach dem julianischen Kalender zu zählen bis 1582, zu welcher Zeit dann die Zeit des Frühlingsäquinoctiums schon merklich verrückt war; es fand nämlich nicht mehr am 21. März statt, wie im Jahre 325, sondern es fiel auf den 11. März.

Vom Jahre 325 bis 1582 waren 1257 Jahre verflossen. Da der Fehler des julianischen Kalenders 0,00776 Tage im Jahre beträgt, so war er also im Laufe dieser 1257 Jahre auf 9,7, also fast auf 10 Tage gewachsen. Man hatte in der Zwischenzeit 10 Schalttage zu viel eingeschaltet und war dadurch um 10 Tage im Kalender zurückgekommen. Deshalb verordnete *Gregor* XIII., dass auf den 4. October 1582 gleich der 15. October folgen sollte, um so den seit dem Concilium von Nicäa angewachsenen Fehler auszugleichen.

Damit aber dieser Fehler für die Zukunft vermieden werde, wurde verordnet, dass auf je 400 Jahre 3 Schalttage ausfallen sollten, was durch die Bestimmung erreicht wird, dass das letzte Jahr eines jeden Jahrhunderts, welches nach dem julianischen Kalender ein Schaltjahr ist, nur 365 Tage haben sollte, wenn die Jahreszahl nicht durch 400 theilbar ist. So bleiben also die Jahre 1600 und 2000 Schaltjahre, die Jahre 1700, 1800, 1900 aber, sowie 2100, 2200, 2300 sind es nicht.

Der *gregorianische* Kalender wurde alsbald unter allen Völkern eingeführt, welche der römischen Kirche angehören; und später wurde er auch von den Protestanten angenommen. Die Griechen und Russen haben noch bis auf den heutigen Tag den julianischen Kalender beibehalten, so dass ihre Zeitrechnung gegenwärtig um 12 Tage gegen die unsrige zurück ist. Der 1. Januar des russischen Kalenders ist der 13. Januar des unsrigen. Der 20. Mai *alten Stils* ist der 1. Juni *neuen Stils*.

Rückgang der Aequinoctialpunkte. Wir haben bisher den 35
Frühlingspunkt als einen festen Punkt des Himmels betrachtet, was er aber in der That nicht ist. Verfolgt man den Lauf der Sonne längere Zeit, so ergiebt sich zwar, dass der Weg, welchen sie unter den Gestirnen beschreibt, im Wesentlichen ungeändert bleibt, dass aber die Punkte, in welchen die Ekliptik von dem Himmelsäquator durchschnitten wird, langsam von Osten nach Westen fortrücken, also der Bewegung der Sonne entgegen.

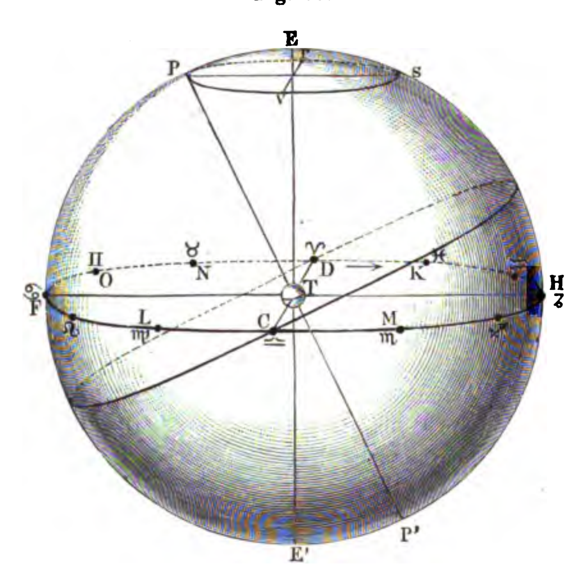
Im Laufe eines Jahrhunderts beträgt dieser Rückgang der Tag- und Nachtgleichen $1^0\ 23'\ 46''$, in einem Jahre also $50''$.

Da also der Frühlingspunkt stets von Osten nach Westen fortschreitet, so ist klar, dass die Länge der Gestirne fortwährend wächst. *Hipparch* fand z. B. im Jahre 130 v. Chr. die Länge von α Virginis

(Spica) gleich 174°, während sie gegenwärtig 201,5° ist. Dabei bleibt die Breite der Gestirne nahezu unverändert, weil die Ebene der Ekliptik ihre Lage nur sehr wenig ändert.

Fig. 58 stellt die gegenseitige Lage der Ekliptik und des Himmelsäquators dar. Beide Ebenen schneiden sich in der Linie *CD*; *C* ist der Herbstpunkt, *D* ist der Frühlingspunkt. Nach dem oben Gesagten muss diese Linie allmählich ihre Lage ändern; der Frühlingspunkt rückt von *D* gegen *K*, der Herbstpunkt von *C* gegen *L* fort; es ist also klar, dass der Frühlingspunkt im Laufe von Jahrtausenden von einem Sternbilde zum anderen wandern wird. Wenn der mit ♈ bezeichnete Frühlingspunkt sich gegenwärtig in *D* befindet, so wird er in 2100 Jahren um

Fig. 58.



30° nach Westen gewandert sein, er wird alsdann an derselben Stelle des Himmels stehen, welche jetzt mit ♓ bezeichnet ist, also in *K*.

Es ist bereits oben S. 79 und 82 bemerkt worden, dass gegenwärtig der Frühlingspunkt ungefähr am westlichen Ende des Sternbildes der Fische liegt, vor 2100 Jahren lag also der Frühlingspunkt noch am westlichen Ende des Sternbildes des Widders, also an dem Punkte *N*, Fig. 58, den wir jetzt mit ♉ bezeichnen. Damals fiel also das Zeichen des Widders mit dem Sternbilde des Widders zusammen, die Sonne passirte den Frühlingspunkt mit dem Eintritt in das Sternbild des Widders. Aus dieser Zeit rührt wahrscheinlich die Eintheilung der Ekliptik in die 12 Zeichen des Thierkreises. Allmählich ging nun die Uebereinstimmung zwischen den Zeichen und den gleichnamigen Sternbildern verloren, weil der Frühlingspunkt auf das folgende Sternbild fortrückte, während man

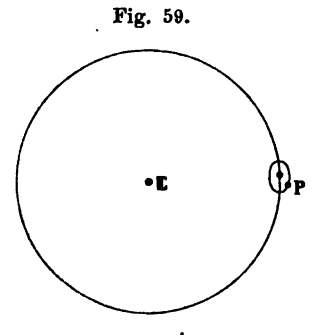
ihn doch stets als den Nullpunkt des ersten Zeichens im Thierkreise (♈) beibehielt.

Da die Ebene der Sonnenbahn (gewisse Schwankungen abgerechnet, von denen alsbald die Rede sein wird) ungeändert bleibt, so lässt sich der Rückgang der Aequinoctialpunkte nur durch die Annahme erklären, dass die Ebene des Himmelsäquators allmählich ihre Stellung ändert. Die Lage des Himmelsäquators ist aber durch die Richtung der Erdaxe bedingt, auf welcher derselbe rechtwinklig steht. In Fig. 58 seien E und E' die Pole der Ekliptik, PP' die Weltaxe, also die verlängerte Erdaxe. Wenn sich nun die Ebene des Himmelsäquators so drehen soll, dass ihre Durchschnittslinie mit der Ebene der Ekliptik sich aus der Lage CD gegen LK hin dreht, so muss auch die Weltaxe eine Drehung erleiden, und zwar wird die Weltaxe PP' bei ihrer Umdrehung um die Axe EE' eine Kegelfläche beschreiben.

Daraus folgt nun auch weiter, dass die Himmelspole keine absolut unveränderlichen Punkte sind. Der Nordpol des Himmels wandert nach und nach durch die ganze Peripherie des Kreises $PrSV$; um aber diesen Kreis vollständig zu durchlaufen, ist eine Zeit von ungefähr 26 000 Jahren nöthig.

In der Sternkarte Tab. III. ist der Kreis gezogen, welchen der Nordpol des Himmels um den Pol der Ekliptik beschreibt. Der Stern α des kleinen Bären, welcher jetzt ungefähr $1^1/_2$ Grad von dem Nordpol des Himmels absteht, war zur Zeit Hipparch's noch fast 12 Grad von demselben entfernt, konnte damals also noch nicht als Polarstern bezeichnet werden. Der Nordpol des Himmels nähert sich diesem Sterne noch bis zum Jahre 2095, wo er nur noch 26 Minuten von ihm abstehen wird. Darauf entfernt sich der Nordpol des Himmels wieder von α Ursae minoris, um in das Sternbild des Cepheus überzugehen. Nach 12 000 Jahren wird α Lyrae dem Nordpol nahe stehen.

Fig. 59.



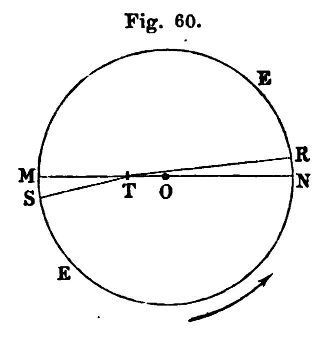
Der in diesem Paragraphen besprochene Rückgang der Nachtgleichen wird auch mit dem Namen der Präcession bezeichnet.

36 **Nutation.** Der Rückgang der Aequinoctialpunkte ist nicht ganz gleichförmig, sondern er zeigt Schwankungen, deren Periode ungefähr $18^1/_2$ Jahre beträgt. Ebenso ist auch der Winkel, welchen die Erdaxe mit der Axe der Ekliptik macht, nicht ganz constant, sondern er erleidet kleine Variationen, welche an dieselbe Periode gebunden sind, indem sich die Erdaxe der Axe der Ekliptik abwechselnd etwas nähert und sich dann wieder von ihr entfernt. Dieses Wanken der Erdaxe bezeichnet man mit dem Namen der Nutation.

Der Nordpol des Himmels beschreibt also nicht, wie es in dem vorigen Paragraphen angenommen wurde, einen reinen Kreis um den Pol der Ekliptik, sondern eine wellenförmige Curve. Eine solche Bewegung erklärt sich, wenn man annimmt, der Pol *P*, Fig. 59, (a. v. S.), bewege sich auf einer kleinen Ellipse, deren Mittelpunkt sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit um den Pol *E* der Ekliptik bewegt. Die grosse Axe dieser kleinen Ellipse beträgt 9,6″, die kleine 8″.

37 **Erklärung der scheinbaren Bewegung der Sonne.** Am einfachsten scheint sich auf den ersten Anblick die scheinbare Bewegung der Sonne dadurch erklären zu lassen, dass man annimmt, die Sonne beschreibe wirklich um die feststehende Erde im Laufe eines Jahres einen Kreis, dessen Ebene einen Winkel von 23° 27′ mit der Ebene des Himmelsäquators macht. In der That war dies auch die im Alterthum herrschende Ansicht. Um aber zu erklären, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Sonne in der Ekliptik fortschreitet, bald langsamer, bald schneller ist, und da man doch die Hypothese nicht aufgeben wollte, dass die Sonne ihre kreisförmige Bahn mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchliefe, nahm Hipparch an, dass sich die Erde nicht im Mittelpunkte der Sonnenbahn befinde.

Fig. 60.



Wenn die Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Kreis *EE*, Fig. 60, durchläuft, die Erde sich aber in *T* ausserhalb des Kreismittelpunktes befindet, so wird die Bewegung der Sonne, von der Erde aus gesehen, nicht mehr gleichförmig erscheinen; denn wenn auch die gleichen Bogen *NR* und *MS* von der Sonne in gleichen Zeiten durchlaufen werden, so sind doch die Winkel, unter welchen diese Bogen, von *T* aus gesehen, erscheinen, nicht gleich, sondern sie verhalten sich umgekehrt wie die Entfernungen *NT* und *MT*; die scheinbare Geschwindigkeit der Sonne ist kleiner, wenn sie sich bei *N*, als wenn sie sich bei *M* befindet.

Denken wir uns durch den Mittelpunkt *O* des Kreises *EE* und die Erde *T* eine gerade Linie gezogen, welche den Kreis in den Punkten *M* und *N* schneidet, so befindet sich die Sonne bei *M* in der kleinsten, bei *N* in der grössten Entfernung von der Erde, der Punkt *M* wird deshalb das Perigäum (Erdnähe), *N* aber das Apogäum (Erdferne) genannt. Die Sonne passirt das Perigäum zu Ende December, das Apogäum zu Ende Juni.

Die gerade Linie *MTON*, welche die Erde mit dem Mittelpunkte der Sonnenbahn verbindet, wird die Apsidenlinie genannt.

Unter der Voraussetzung, dass sich die Sonne mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegt, kann nun das Verhältniss der Excentricität OT zum Halbmesser OM leicht aus der Vergleichung des grössten und kleinsten Winkels abgeleitet werden, um welchen die Länge der Sonne in 24 Stunden zunimmt. Diese Winkel sind aber $1^0\ 1'\ 10{,}1''$ oder $3670{,}1''$ und $57'\ 11{,}5''$ oder $3431{,}5''$ (S. 81); wir haben also

$$TM : TN = 3431{,}5 : 3670{,}1,$$

woraus sich die Excentricität OT ungefähr gleich $^1/_{30}$ vom Halbmesser der Sonnenbahn ergeben würde.

Dass die Hypothese von der gleichförmigen Bewegung der Sonne in einem excentrischen Kreise unrichtig ist, geht aus der scheinbaren Grösse des Sonnendurchmessers, wie er zu verschiedenen Jahreszeiten durch Messung gefunden wird, zweifellos hervor. Wäre Hipparch's Hypothese richtig, so müssten sich die scheinbaren Durchmesser der Sonne zu Ende Juni und zu Ende December gleichfalls verhalten wie 3431 : 3670, während in der That die Sonnendurchmesser zu diesen Zeiten $31'\ 30{,}8''$ und $32'\ 35{,}3''$ sind, sich also verhalten wie 1891 zu 1955. Daraus geht hervor, dass die Entfernungen TM und TN sich verhalten müssen wie 1891 zu 1955, woraus folgt, dass die Excentricität der Sonnenbahn in der That nur $^1/_{60}$ ist.

Betrachten wir nun die Methoden, welche man angewandt hat, um den scheinbaren Durchmesser der Sonne mit Genauigkeit zu bestimmen. Zunächst lässt sich diese Bestimmung mit Hülfe eines jeden im Meridian aufgestellten und mit einem Fadenkreuz versehenen Fernrohrs ausführen; man hat nur die Zeit zu beobachten, welche vergeht zwischen dem Moment, in welchem der westliche Sonnenrand an den verticalen Faden des Fadenkreuzes herantritt, und demjenigen Moment, in welchem der östliche Sonnenrand diesen Faden verlässt. Bezeichnen wir mit t die zwischen den fraglichen Momenten vergangene, in Minuten ausgedrückte Zeit, so ist

$$S = \frac{t \cos d}{4},$$

wenn S den in Graden ausgedrückten scheinbaren Durchmesser der Sonne und d die Declination der Sonne am Beobachtungstage bezeichnet.

Mit der grössten Genauigkeit lässt sich aber der Durchmesser der Sonne mit dem Heliometer bestimmen, dessen Einrichtung folgende ist.

Das Heliometer ist im Wesentlichen ein astronomisches Fernrohr, dessen Objectiv durch einen diametralen Schnitt in zwei gleiche Hälften getheilt ist. Die eine Hälfte A, Fig. 61 (a. f. S.), des Objectivs ist nach einer älteren Construction in unveränderlicher Weise mit dem Rohre verbunden, während die andere Hälfte B, Fig. 61 und 62 (a. f. S.), in der Richtung der Schnittlinie verschoben werden kann; neuerdings wird gewöhnlich jede der beiden Objectivhälften für sich beweglich gemacht. Die Verschiebung der beweglichen Objectivhälfte wird durch eine Schraube vermittelt, deren Kopf mit einer entsprechenden Theilung

versehen ist, um noch Bruchtheile einer Umdrehung der Schraube mit Genauigkeit ablesen zu können.

Jede Hälfte des Objectivs entwirft nun für sich ein durch das Ocular zu betrachtendes Bild des Gegenstandes, auf welchen das Rohr gerichtet ist. Wenn nun die beiden Hälften des Objectivs so neben einander gestellt sind, dass ihre Mittelpunkte coincidiren, Fig. 61, so fallen auch die Bilder der beiden Hälften vollkommen zusammen, man sieht nur ein Bild, gerade so als ob man nur mit einem ganzen ungetheilten Objectiv zu thun hätte.

Sobald man aber die Objectivhälfte *B* aus dieser Lage nur im mindesten gegen die andere verschiebt, treten die beiden Bilder aus einander, man sieht zwei Bilder des Gegenstandes, auf welchen das Fernrohr gerichtet ist, welche um so mehr aus einander treten, je weiter die bewegliche Objectivhälfte *B* aus ihrer centralen Stellung verschoben wird.

Ist das Instrument auf die Sonne gerichtet (zu deren Beobachtung man natürlich Blendgläser anwenden muss), so sieht man ein einziges

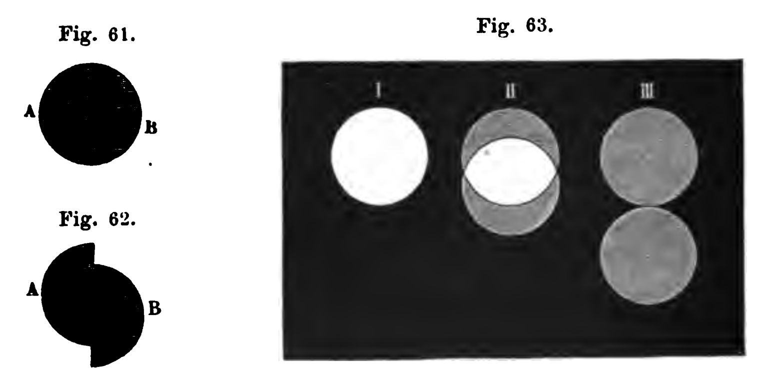


Fig. 61.
Fig. 62.
Fig. 63.

Sonnenbild, Nr. I, Fig. 63, wenn die Objectivhälfte *B* genau ihre centrale Stellung hat. Sobald man die Objectivhälfte *B* aus dieser Lage um etwas verschiebt, treten die beiden Sonnenbilder aus einander, Nr. II, Fig. 63, und zwar werden sich die Mittelpunkte der beiden Sonnenbilder um so mehr von einander entfernen, je weiter die Objectivhälfte *B* verschoben wird; wenn aber endlich die Verschiebung von *B* so weit fortgesetzt worden ist, dass der Mittelpunkt des verschiebbaren Sonnenbildes um den scheinbaren Sonnendurchmesser von dem Mittelpunkte des festen verschoben ist, so berühren sich die beiden Sonnenbilder, Nr. III, Fig. 63.

Um nun mit einer solchen Vorrichtung den scheinbaren Durchmesser der Sonnenscheibe oder irgend welche andere Winkel messen zu können, muss man ermitteln, welchem Winkelwerth irgend eine Verschiebung jeder der beiden Objectivhälften entspricht. Hierzu kann man sich verschiedener Methoden bedienen; eine der einfachsten und gebräuchlichsten besteht darin, dass man misst, um welchen Betrag man die Objectivhälften gegen einander verschieben muss, um zwei Sterne, deren gegenseitige

Lage durch Meridiankreis-Beobachtungen genau bestimmt ist, im Fernrohr des Heliometers zur Coincidenz zu bringen.

Es sei nun die bekannte scheinbare Winkelentfernung zweier Sterne, in Bogensecunden ausgedrückt, gleich w, die Grösse der Verschiebung der beiden Objectivhälften gegen einander, in Theilen der Scala ausgedrückt, gleich t, so wird der Werth eines Theiles der Scala, in Bogensecunden ausgedrückt, gleich $\frac{w}{t}$ sein.

Wenn man also, mit dem Heliometer die Sonne beobachtend, n Umdrehungen der Schraube machen müsste, um die beiden Sonnenbilder aus der vollkommenen Coincidenz bis zur gegenseitigen Berührung zu bringen, so ist der scheinbare Sonnendurchmesser

$$D = n \frac{w}{t} \text{ Minuten.}$$

Es ist klar, dass das Heliometer in gleicher Weise auch benutzt werden kann, um den Durchmesser anderer Himmelskörper, des Mondes, der Planeten u. s. w., sowie den gegenseitigen Abstand nahe stehender Gestirne zu messen.

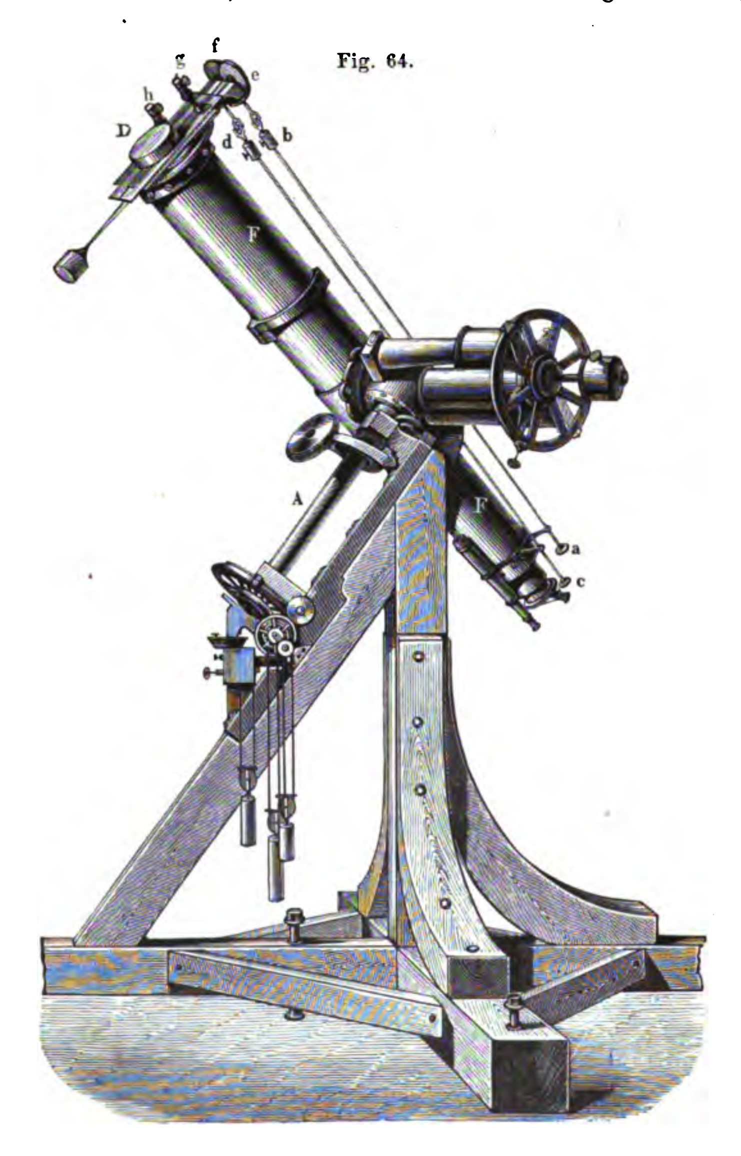
Mit Hülfe des Heliometers kann man sich auch überzeugen, dass die Sonne wirklich vollkommen kugelförmig, dass sie nicht abgeplattet ist wie die Erde. Hat man nämlich die verschiebbare Objectivfläche B so festgestellt, dass das eine Sonnenbild das andere eben berührt, so wird, wenn man nun die beiden Objectivhälften gemeinschaftlich um die Axe des Fernrohres dreht, das eine Bild, welches von der festen Objectivhälfte erzeugt wird, fest stehen bleiben, während das zweite von der nun excentrisch gestellten Objectivhälfte erzeugte Bild sich um das feste herumbewegt. Führt man diesen Versuch aus, so findet man, dass die beiden Bilder vollkommen in Berührung bleiben, was nicht der Fall sein würde, wenn die Sonnenkugel nur eine der Erde proportionale Abplattung hätte.

Das Heliometer ist eine Erfindung Bouguer's (1748), welcher jedoch statt der beiden Objectivhälften zwei ganze Objective von gleicher Brennweite anwandte, von denen das eine fest, das andere verschiebbar war. Dollond ersetzte die beiden Objective durch die beiden Hälften eines und desselben Objectivs, wodurch das Instrument bedeutend vereinfacht und verbessert wurde.

Es versteht sich von selbst, dass das Heliometer, um vollkommen seinem Zweck zu entsprechen, parallaktisch aufgestellt sein und durch ein Uhrwerk um die Weltaxe des Instrumentes gedreht werden muss. Fig. 64 (a. f. S.) stellt das Heliometer dar, welches Fraunhofer für die Königsberger Sternwarte construirt und mit welchem Bessel viele wichtige Untersuchungen ausgeführt hat. A ist die der Weltaxe parallel zu stellende Hauptdrehungsaxe des Instrumentes. D ist das aus zwei getrennten Hälften bestehende Objectiv. Längs des Rohres F sind zwei Schlüssel ab und cd angebracht, vermittelst deren der Beobachter, ohne das Ocular zu verlassen, nach Belieben jede der beiden Objectivhälften ver-

schieben kann; mit einem dritten, in der Figur nicht sichtbaren Schlüssel kann man den ganzen Objectivkopf um die Axe des Fernrohres drehen, wodurch bewirkt wird, dass man Distanzen in beliebigen Richtungen

Fig. 64.



messen kann. Die Grösse der Verschiebung der Objectivhälften kann nach Belieben entweder an den eingetheilten Schraubenköpfen *e* und *f* oder an einer Scala mit den Mikroskopen *g* und *h* abgelesen werden,

während die Grösse der Drehung des Rohres um seine Axe an dem bei *D* befindlichen Kreise abgelesen wird.

Jährliche Bewegung der Erde um die Sonne. Aus 38
Gründen, welche erst in dem Capitel von der Planetenbewegung ihre volle Würdigung finden können, hat man die Annahme, dass die Erde fest stehe und die Sonne um sie herumlaufe, verlassen und nimmt statt dessen an, dass die Erde um die ruhende Sonne kreist.

Wir wollen nun zunächst untersuchen, wie sich aus dieser Hypothese die scheinbare Bewegung der Sonne in der Ekliptik erklären lässt.

Der äussere Kreis Tab. V. stellt die Bahn dar, welche die Sonne scheinbar während eines Jahres durchläuft, und zwar ist diese Bahn in die 12 Zeichen des Thierkreises eingetheilt. Den Mittelpunkt der Figur bildet die Sonne, und um dieselbe ist dann der Kreis gezogen, welchen die Erde im Laufe eines Jahres wirklich durchläuft.

Der Durchmesser der Erdbahn sollte freilich verschwindend klein sein gegen den Durchmesser des Thierkreises. Obgleich nun dies Verhältniss auch nicht entfernt eingehalten ist, so kann man doch aus dieser Figur ersehen, an welcher Stelle der Ekliptik die Sonne erscheinen muss, wenn die Erde verschiedene Orte ihrer Bahn einnimmt.

Befindet sich die Erde in *A*, so trifft eine von *A* aus nach der Sonne gezogene und über dieselbe hinaus verlängerte Linie die Ekliptik in dem Punkte ♈, *A* ist also der Ort, an welchem sich die Erde zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums befindet. Während nun die Erde in der Richtung des Pfeiles von *A* bis *B* fortschreitet, scheint, von ihr aus gesehen, die Sonne die Zeichen Widder, Stier und Zwillinge zu durchlaufen, und wenn die Erde in *B* angekommen ist, so steht die Sonne offenbar gerade vor ♋, d. h. sie tritt gerade in das Zeichen des Krebses ein.

Während die Erde den zweiten, dritten und vierten Quadranten, also die Wege von *B* bis *C*, von *C* bis *D*, von *D* bis *A* durchläuft, bewegt sich die Sonne scheinbar der Reihe nach vor den Sternzeichen Krebs, Löwe, Jungfrau, Wage, Scorpion, Schütze, Steinbock, Wassermann und Fische her, die Sonne scheint also die Ekliptik in der angegebenen Richtung zu durchlaufen.

Während die Erde in der angegebenen Weise um die Sonne herumläuft, dreht sie sich aber auch noch in je 24 Stunden um ihre Axe; die Erdaxe aber steht nicht rechtwinklig auf der Ebene der Ekliptik, sondern sie macht einen Winkel von $66^{0}\ 33'$ mit derselben, so dass also der Erdäquator, mithin auch der Himmelsäquator einen Winkel von $23^{0}\ 27'$ mit der Ebene der Erdbahn machen.

Da nun die Lage der Weltaxe, sowie die Lage des Himmelsäquators das ganze Jahr hindurch unverändert bleiben, so müssen wir annehmen, dass die Erdaxe trotz der fortschreitenden Bewegung der Erde doch stets dieselbe Richtung im Weltraume beibehält, dass also die Erdaxe immer parallel mit sich selbst fortrückt. Es ist dies zwar auch in

Tab. V. zu erkennen, deutlicher aber sieht man es in Fig. 65, welche die Erdbahn perspectivisch darstellt.

Betrachten wir das Verhältniss der Erde zu den Sonnenstrahlen etwas näher, so sehen wir, dass zur Zeit des Wintersolstitiums, also wenn die Erde bei D, Fig. 65, steht, die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf einen Punkt r fallen, welcher $23^0\ 27'$ südlich vom Aequator liegt.

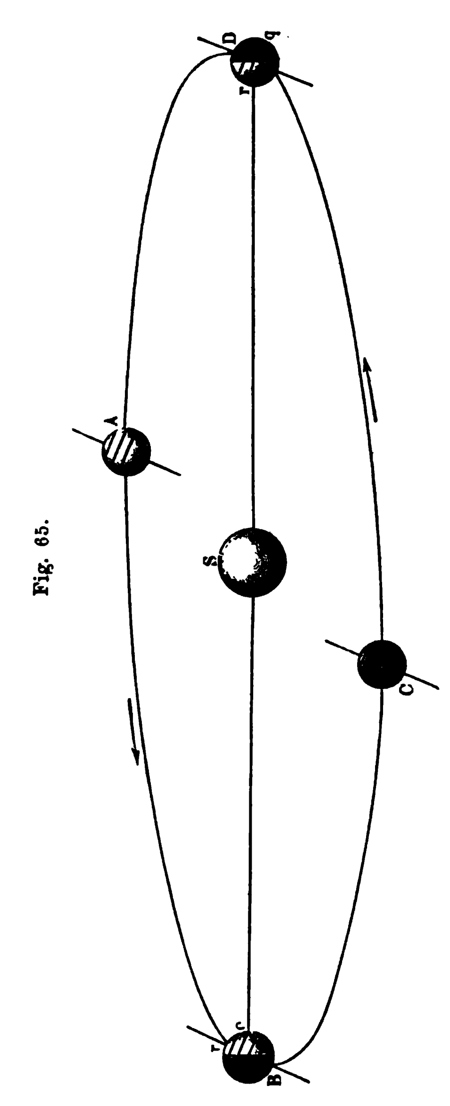


Fig. 65.

In Fig. 65 ist die Erdkugel zu klein, um die hier in Frage kommenden Verhältnisse recht deutlich übersehen zu können, deshalb ist sie in Fig. 66 in gleicher Stellung, wie bei D, Fig. 65, in vergrössertem Maassstabe dargestellt, und Fig. 67 (a. S. 112) zeigt die auf die Ebene der Ekliptik projicirte Erdkugel zur Zeit des Wintersolstitiums.

Der Parallelkreis rq, welcher $23^0\ 27'$ südlich vom Aequator liegt, ist die südlichste Grenze, für welche die Sonne im Zenith erscheinen kann. Weil nun die Sonne, wenn die Erde bei D steht, in das Zeichen des Steinbocks eintritt, so heisst dieser Parallelkreis rq der **Wendekreis des Steinbocks**.

Wenn die Sonne in das Zeichen des Steinbocks tritt, wenn sich die Erde also bei D, Tab. V. und Fig. 65, befindet, so tangiren die Sonnenstrahlen die nördliche Erdhälfte in s, Fig. 66, ($23^0\ 27'$ vom Nordpol), die südliche in v ($23^0\ 27'$ vom Südpol). Der durch s gelegte Parallelkreis st heisst der **nördliche**, der durch v gelegte Parallelkreis uv heisst der **südliche Polarkreis**.

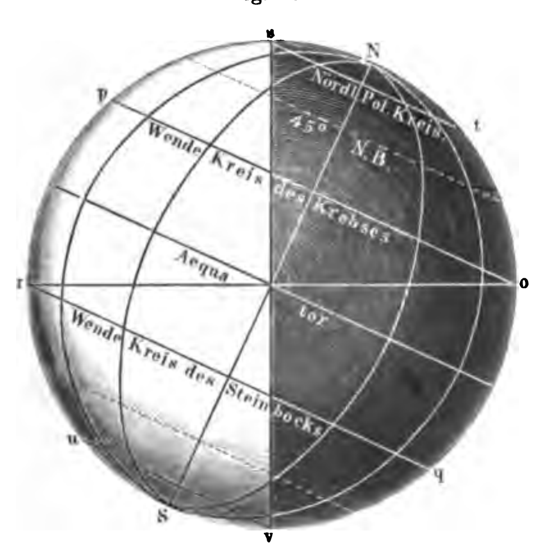
Der südliche Polarkreis uv bildet die Grenze derjenigen Orte, für welche zur Zeit des Wintersolstitiums in Folge der Axendrehung der Erde noch ein Auf- und Untergang der Sonne innerhalb 24 Stunden

stattfindet. Für alle Orte des südlichen Polarkreises ist der längste Tag 24 Stunden und für alle Orte, welche innerhalb des südlichen Polarkreises liegen, geht zur Zeit des Wintersolstitiums die Sonne nicht mehr unter (siehe oben §. 15).

Von dem ganzen Flächenraum, welcher innerhalb des nördlichen Polarkreises *st* liegt, bleiben zur Zeit des Wintersolstitiums die Sonnenstrahlen gänzlich abgehalten. Es ist dies die Zeit der längsten Nacht für die nördliche Hemisphäre, und diese dauert auf dem nördlichen Polarkreise 24 Stunden.

Von *D*, Tab. V. und Figur 65, aus gelangt die Erde während des nächsten Vierteljahres nach *A*, und nun tritt die Sonne in das Zeichen des Widders. Es ist dies die Zeit des Frühlings-Aequinoctiums.

Fig. 66.

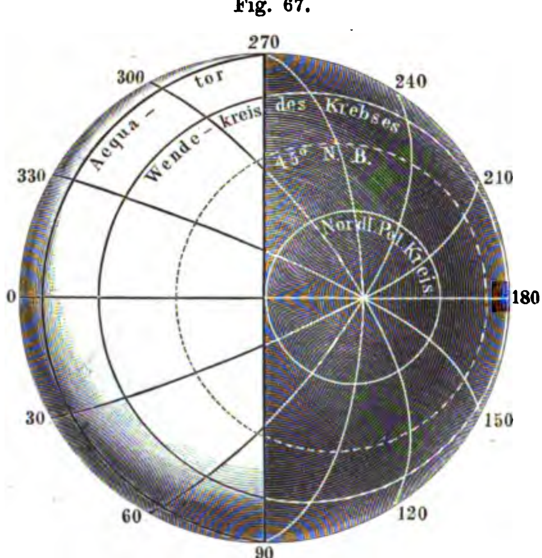


Die Sonnenstrahlen treffen jetzt rechtwinklig auf einen Punkt des Aequators und tangiren die beiden Pole. Der grösste Kreis der Erdkugel, welcher die beleuchtete von der dunklen Erdhälfte scheidet, geht jetzt durch die beiden Pole, er halbirt also alle Parallelkreise, und daher kommt es denn, dass um diese Zeit Tag und Nacht auf der ganzen Erde gleich sind.

Wenn die Erde in *B* angekommen ist, wenn sie also ins Zeichen des Krebses eintritt, so fallen die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf denjenigen Punkt *o* des 23° 27′ nördlich vom Aequator liegenden Kreises *op*, für welchen die Sonne gerade culminirt. Der Kreis *op* enthält also die nördlichsten Punkte der Erde, für welche die Sonne noch ins Zenith kommen kann. Er wird der Wendekreis des Krebses genannt.

Zur Zeit des Sommersolstitiums geht während der täglichen Umdrehung die Sonne innerhalb des nördlichen Polarkreises nicht mehr unter, innerhalb des südlichen nicht mehr auf. Der nördliche Polarkreis hat jetzt seinen längsten Tag von 24 Stunden und ebenso lang ist zu dieser Zeit die Nacht des südlichen Polarkreises.

Fig. 67.



Zur Zeit des Herbstäquinoctiums, wenn die Erde in *C* angelangt ist, sind die Insolationsverhältnisse dieselben wie zur Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche.

39 **Eintheilung der Erde in fünf Zonen.** Durch die beiden Wendekreise und die beiden Polarkreise wird die Erde in fünf Zonen getheilt.

Die heisse Zone ist der Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt und dessen Mitte der Erdäquator bildet.

Die nördliche gemässigte Zone ist der Raum zwischen dem Wendekreise des Krebses *po*, Fig. 68, und dem nördlichen Polarkreise *st*. Diesem entspricht die südliche gemässigte Zone zwischen dem südlichen Wendekreise *rq* (dem Wendekreise des Steinbocks) und dem südlichen Polarkreise *uv*.

Die nördliche und die südliche kalte Zone endlich sind die durch den nördlichen und südlichen Polarkreis eingeschlossenen Flächenräume. Der Nordpol bildet den Mittelpunkt der nördlichen, der Südpol den Mittelpunkt der südlichen kalten Zone.

Am 21. Juni erreicht die Sonne für die auf dem nördlichen Wendekreise gelegenen Orte zur Mittagszeit das Zenith, während am 21. December

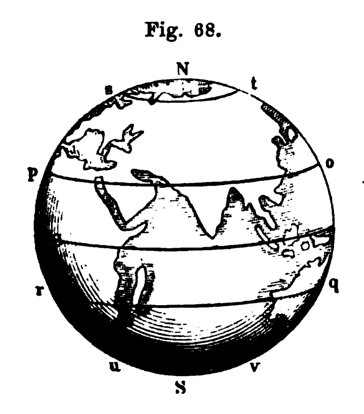
für dieselben Orte zur Mittagszeit die Sonne 46° 54′ von dem Zenith absteht. Auf den Wendekreisen variirt also die Höhe der Sonne zur Mittagszeit von 43° 6′ bis 90°.

An allen zwischen den beiden Wendekreisen gelegenen Orten geht die Sonne zweimal im Jahre durch das Zenith. Die Zeitpunkte aber, in welchen dies stattfindet, rücken um so weiter aus einander, je weiter man sich von den Wendekreisen aus dem Aequator nähert. Auf dem Aequator selbst liegen diese Zeitpunkte um $^1/_2$ Jahr aus einander, indem hier die Sonne das Zenith zur Zeit des Frühlings- und des Herbstäquinoctiums passirt.

Für den Aequator ist die grösste Höhe, welche die Sonne des Mittags erreicht, 90°, die geringste 66° 33′.

Der niedrigste Sonnenstand für den Aequator ist also immer noch etwa um 3° grösser als der höchste Stand, welchen die Sonne im mittleren Deutschland am 21. Juni erreicht, und für die Wendekreise ist der niedrigste Sonnenstand ungefähr demjenigen gleich, welcher auf dem 50. Breitengrade zu Ende März stattfindet. Der ganze Erdgürtel, welcher zwischen den beiden Wendekreisen liegt, ist demnach das ganze Jahr hindurch einer sehr kräftigen Wirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt, weshalb er auch den Namen der heissen Zone führt.

Fig. 68.



Ausserhalb der Wendekreise erreicht die Sonne nie mehr das Zenith, und ihre Strahlen fallen um so schräger auf, je mehr man sich den Polen nähert. Auf den Polarkreisen ist die grösste Mittagshöhe, welche die Sonne erreicht, ungefähr der geringsten Mittagshöhe der Wendekreise gleich. Zur Winterszeit aber sinkt die Höhe der Sonne um Mittag auf den Polarkreisen bis auf 0 herab; es ist also klar, dass die Wärme, welche durch die Sonnenstrahlen auf der Erdoberfläche hervorgebracht wird, von den Wendekreisen gegen die Polarkreise hin rasch abnehmen muss.

Ueber die Polarkreise hinaus, wo die Sonnenstrahlen längere Zeit gar nicht hintreffen und wo sie, wenn die Sonne auch über dem Horizonte steht, doch nur sehr schräg auffallen, muss nothwendig eine sehr niedrige Temperatur herrschen; deshalb heisst auch der vom nördlichen Polarkreise eingeschlossene Flächenraum die nördliche kalte Zone, während der entsprechende, den Südpol umgebende Raum die südliche kalte Zone genannt wird.

Da die Wärmeentwickelung auf der Erdoberfläche fast ausschliesslich von den Sonnenstrahlen herrührt, so ist klar, dass das Klima eines Landes vorzugsweise durch die Insolationsverhältnisse bedingt ist; die Wirksam-

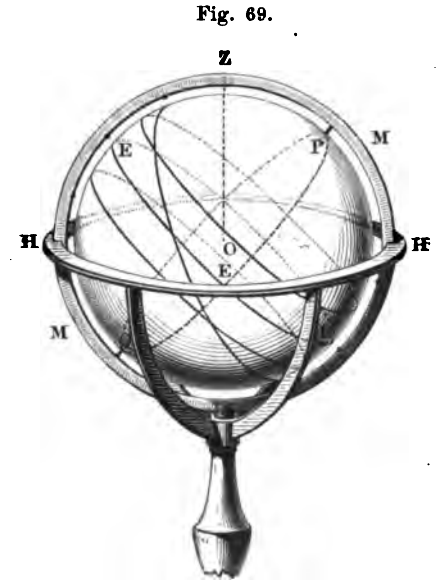
keit der Sonnenstrahlen wird aber noch durch mancherlei Umstände modificirt, und so kommt es, dass Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch stets gleiches Klima haben, wie dies im dritten Buche ausführlicher wird besprochen werden.

Die Abwechselung unserer Jahreszeiten hängt von dem Wechsel der Insolationsverhältnisse ab. In unserem Kalender wird als Frühling die Zeit bezeichnet, während welcher die Sonne den Bogen vom Frühlingspunkte bis zum nördlichen Solstitialpunkte durchläuft.

Während unseres Sommers geht die Sonne vom nördlichen Solstitialpunkte bis zum Herbstpunkte. Herbst und Winter sind die Zeiten, während welcher die Sonne vom Herbstpunkte bis zum südlichen Solstitialpunkte und von diesem wieder bis zum Frühlingspunkte fortschreitet.

40 **Tagesdauer an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Jahreszeiten.** Nach §. 15 ist es klar, dass die Dauer des Tages, d. h. die Zeit, während welcher die Sonne über dem Horizont bleibt, von der Stellung abhängt, welche dieses Gestirn gerade am Himmel einnimmt, dass sie sich also mit der Jahreszeit ändert.

Fig. 69.



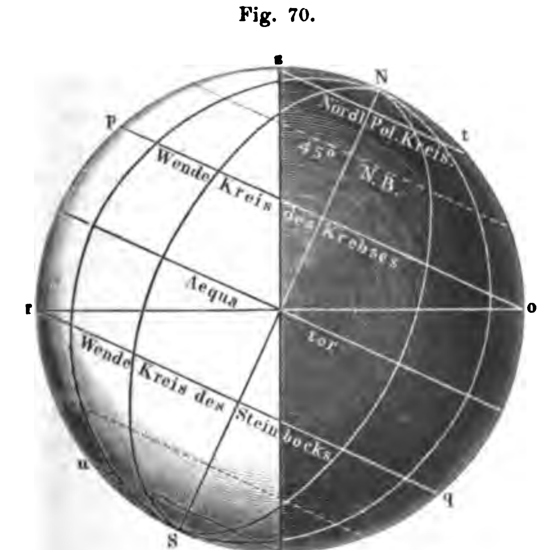
Wenn die Sonne gerade auf dem Himmelsäquator steht, so ist für alle Orte der Erde ihr Tagbogen dem Nachtbogen gleich, Tag und Nacht sind überall gleich lang, daher denn auch die Punkte, in welchen die Sonnenbahn den Himmelsäquator schneidet, Aequinoctialpunkte genannt werden.

Je mehr die nördliche Declination der Sonne zunimmt, desto mehr wächst für die nördliche Erdhälfte ihr Tagbogen, bis er endlich zur Zeit des Sommersolstitiums ein Maximum wird. Befindet sich dagegen die Sonne auf der südlichen Hemisphäre des Himmels, so ist auf der Nordhälfte der Erde der Tagbogen kleiner, der Nachtbogen grösser, und am längsten wird die Nacht zur Zeit des Wintersolstitiums.

Wie lang für einen bestimmten Ort der Erde die Dauer des Tages zu einer gegebenen Zeit des Jahres sei, kann man mit Hülfe eines Himmelsglobus leicht ermitteln. Man braucht nur die Axe PQ des Globus, Fig. 69, so gegen die Ebene des Horizontes HH zu neigen, wie es

der Polhöhe des Ortes entspricht, und alsdann diejenige Stelle der Ekliptik zu bezeichnen, an welcher sich gerade die Sonne befindet. Man kann nun leicht mittelst des Stundenkreises sehen, wie viel Stunden der Tagbogen der Sonne beträgt. Soll z. B. ermittelt werden, wie gross der Tagbogen der Sonne am 1. Mai für das mittlere Deutschland sei, so hat man zunächst den Globus so zu stellen, dass die Axe PQ einen Winkel von 50 Grad mit dem Horizont macht. Am 1. Mai ist die Länge der Sonne $40^1/_2$ Grad, man hat also auf der Ekliptik $40^1/_2$ Grad vom Frühlingspunkte an nach Osten zu zählen, um den Punkt zu finden, an welchem sich gerade die Sonne befindet. Der Globus wird nun in diejenige Stellung gebracht, welche dem Aufgang des bezeichneten Punktes entspricht, und die Stellung des Zeigers auf dem Stundenkreise gemerkt; alsdann wird die Kugel von Ost nach West bis zum Untergang des bezeichneten Punktes gedreht und die Grösse der Drehung auf dem Stundenkreise abgelesen. Man findet auf diese Weise für den Tagbogen der Sonne am 1. Mai im mittleren Deutschland $14^1/_2$ Stunden.

Fig. 70.



Nach diesem Verfahren ist es auch leicht, die Dauer des längsten und des kürzesten Tages für einen beliebigen Ort auf der Erde zu finden.

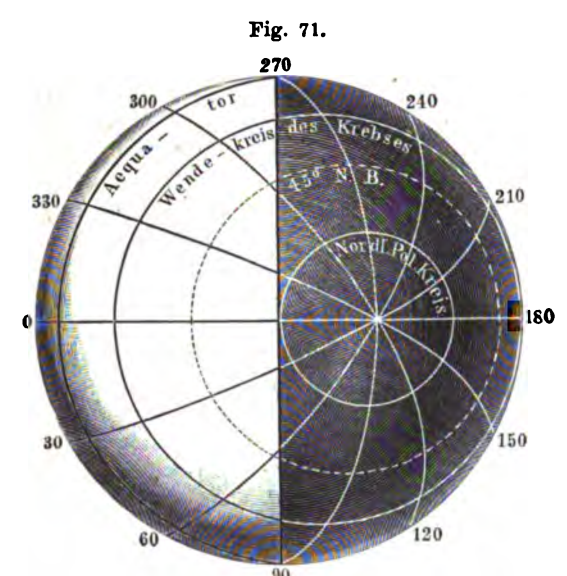
Diese Aufgabe lässt sich auch ohne Globus mit Hülfe einer einfachen geometrischen Construction auflösen.

Fig. 70 stelle die Erde zur Zeit des Wintersolstitiums dar, und zwar auf eine Ebene projicirt, welche mit der Erdaxe parallel und rechtwinklig auf der Ebene der Ekliptik steht. Alle Parallelkreise erscheinen hier zur Linie verkürzt. — Die Linie sv, welche die beleuchtete Erdhälfte von der dunklen scheidet, theilt den Aequator in zwei gleiche, alle übrigen Parallelkreise aber in ungleiche Theile. Derjenige Theil eines Parallelkreises nun, welcher auf der erleuchteten Erdhälfte liegt, verhält sich zum ganzen Kreisumfang wie die Dauer des kürzesten Tages zu 24 Stunden.

Um die Dauer des kürzesten Tages für einen gegebenen Parallelkreis zu bestimmen, hat man also nur zu ermitteln, wie gross der erleuchtete Bogen dieses Parallelkreises ist.

Um dies besser zu übersehen, ist die Erde in ihrer dem Wintersolstitium entsprechenden Lage in Fig. 71 auf die Ebene der Ekliptik projicirt dargestellt. Man sieht hier, wie in Fig. 70, dass um diese Zeit der ganze nördliche Polarkreis im Schatten liegt, dass für diesen also die Dauer der längsten Nacht 24 Stunden beträgt, die Dauer des kürzesten Tages also 0 ist.

Fig. 71.



Von dem Parallelkreise 45 Grad nördlicher Breite sind ungefähr 128 Grade erleuchtet. Da nun 15 Bogengrade einer Stunde entsprechen, so ist also für den 45. Grad nördlicher Breite die Dauer des kürzesten Tages $\frac{128}{15} =$ 8,5 Stunden.

Ebenso ergiebt sich aus der Figur, dass für den nördlichen Wendekreis die Dauer des kürzesten Tages zwischen 10 und 11 Stunden beträgt.

Die folgende Tabelle giebt die Dauer des längsten und des kürzesten Tages für verschiedene geographische Breiten an:

Breite	Dauer des längsten Tages	Dauer des kürzesten Tages	Breite	Dauer des längsten Tages	Dauer des kürzesten Tages
0°	12h 0m	12h 0m	40°	14h 51m	9h 9m
5	12 17	11 43	45	15 26	8 34
10	12 35	11 25	50	16 9	7 51
15	12 53	11 7	55	17 7	6 53
20	13 13	10 47	60	18 30	5 30
25	13 34	10 26	65	21 9	2 51
30	13 56	10 4	66° 33′	24 0	0 0
35	14 26	9 38			

Für Orte, welche innerhalb der Polarkreise liegen, wechselt die Dauer des Tages von 0 bis 24 Stunden in dem Theile des Jahres, in welchem die Sonne noch auf- und untergeht. Die Anzahl der Tage aber, während welcher die Sonne stets über dem Horizont bleibt, ohne unterzugehen, und die Zahl der Tage, während welcher sich die Sonne gar nicht über den Horizont erhebt, wechselt mit der Breite. Die folgende Tabelle giebt die Anzahl dieser Tage an für verschiedene nördliche Breiten von 66° 33′ bis 90°.

Nördliche Breite	Die Sonne geht nicht unter ungefähr in	Die Sonne geht nicht auf ungefähr in
66° 33′	1 Tag	1 Tag
70	65 Tagen	60 Tagen
75	103 „	97 „
80	134 „	127 „
85	161 „	153 „
90	186 „	179 „

Dass für die nördliche kalte Zone die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht untergeht, grösser ist, als die Zahl der Tage, an welchen sie unter dem Horizont bleibt, rührt daher, dass die Sonne überhaupt länger auf der nördlichen Hemisphäre des Himmels verweilt als auf der südlichen. Für die südliche kalte Zone ist die Zahl der Tage, an welchen die Sonne nicht aufgeht, gleich der Zahl der Tage, an welchen in gleicher nördlicher Breite kein Untergang stattfindet. In einer südlichen Breite von 75 Grad bleibt die Sonne 103 Tage anhaltend unsichtbar, während sie dann wieder 97 Tage lang nicht untergeht.

Wir haben hier die Tagesdauer betrachtet, wie sie sich aus rein geometrischen Beobachtungen ergiebt, ohne Rücksicht auf den Einfluss der atmosphärischen Strahlenbrechung und der Dämmerung zu nehmen. Wie durch diese Einflüsse die Dauer des Tages verlängert wird, können wir erst im zweiten Buche untersuchen.

Wahre Gestalt der Erdbahn. Wir haben gesehen, dass der 41
scheinbare Durchmesser der Sonne im Laufe eines Jahres bald ab-, bald zunimmt. Wenn man nun die scheinbare Bewegung der Sonne in allen ihren Verhältnissen und Beziehungen durch eine wirkliche Bewegung der Erde erklären will, so darf man die Sonne nicht in den Mittelpunkt der Erdbahn setzen, und zwar folgt aus den in §. 37 entwickelten Gründen, dass die Excentricität der Erdbahn gleich $^1/_{60}$ ihres halben Durchmessers sein muss.

Um aber auch die Veränderungen der scheinbaren Geschwindigkeit der Sonne mit den entsprechenden Variationen ihres Durchmessers und den daraus sich ergebenden Veränderungen ihrer Entfernung von der Erde in Uebereinstimmung zu bringen, muss man die Ansicht aufgeben, als ob die Erde sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihrer Bahn fortbewegte. Nach §. 37 verhalten sich die Entfernungen zwischen Erde und Sonne am 1. Januar und am 1. Juli wie 1891 zu 1955. Die Quadrate dieser Zahlen verhalten sich wie 1 zu 1,0688, und dies ist gerade auch das Verhältniss der in §. 26 bereits mitgetheilten täglichen Winkelgeschwindigkeiten an den genannten Tagen: dasselbe Verhältniss findet an je zwei anderen Tagen ebenfalls statt, und es folgt daraus, dass die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sich die Erde, von der Sonne aus gesehen, fortbewegt, sich umgekehrt verhält wie das Quadrat der Entfernung beider Weltkörper.

Bezeichnen wir mit W_1 und W_f die von der Sonne aus gesehenen Winkelgeschwindigkeiten der Erde für die Entfernungen 1 und f, so ist demnach

$$W_f = \frac{W_1}{f^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Nun ist aber offenbar der Bogen TT', Fig. 72, welchen die Erde in einer gegebenen Zeit zurücklegt, dem Winkel TST' und der Entfernung TS proportional; bezeichnen wir also die den Entfernungen 1 und f entsprechenden Bogen mit B_1 und B_f, so haben wir:

$$B_1 = n\, W_1 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

$$B_f = n\, W_f . f \quad \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

Setzen wir in Gleichung (3) den aus Gleichung (1) genommenen Werth von W_f, so kommt:

$$B_f = \frac{n\, W_1}{f^2} . f = \frac{n\, W_1}{f}$$

oder, wenn man nach Gleichung (2) B_1 für $n\, W_1$ setzt:

$$B_f = \frac{B_1}{f},$$

das heisst in Worten: die in gleichen Zeiten von der Erde in ihrer Bahn zurückgelegten Bogen verhalten sich umgekehrt wie die Entfernung der Erde von der Sonne.

Wenn sich aber die in gleichen Zeiten von der Erde beschriebenen Bogen TT' und tt', Fig. 72, umgekehrt verhalten wie die Entfernungen TS und tS, so folgt, dass der Inhalt des Dreieckes TST' dem Inhalte des Dreieckes tSt' gleich ist. Wir nehmen hier an, dass die Bogen TT' und tt' so klein sind, dass wir sie als geradlinig ansehen können. Was hier aber für diese kleinen Bogen bewiesen ist, gilt ebenso für die Summe vieler kleiner Bogen, und wir erhalten somit folgenden Satz:

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Erde in ihrer Bahn fortschreitet, ist von der Art, dass der Leitstrahl (radius vector),

welchen man sich von der Sonne zur Erde gezogen denken kann, in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt.

Dieses Gesetz der Geschwindigkeiten, welches unter dem Namen des zweiten Kepler'schen Gesetzes bekannt ist, gilt, wie wir im nächsten Capitel sehen werden, in gleicher Weise auch für alle übrigen um die Sonne kreisenden Planeten.

Nach dem ersten Kepler'schen Gesetze ist die Bahn aller Planeten, folglich auch die Bahn der Erde, welche durch Copernicus unter die Planeten eingereiht worden ist, kein Kreis, sondern eine Ellipse, und die Sonne befindet sich in dem einen Brennpunkte derselben.

Die grosse Axe *ab*, Fig. 73, dieser Ellipse führt den Namen der Apsidenlinie; die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte *c* ist die Excentricität der Erdbahn; sie beträgt ungefähr $^1/_{60}$ der halben grossen Axe *ca*, und daraus folgt, dass die Ellipse, welche die Erde innerhalb eines Jahres durchläuft, sehr wenig von der Kreisgestalt

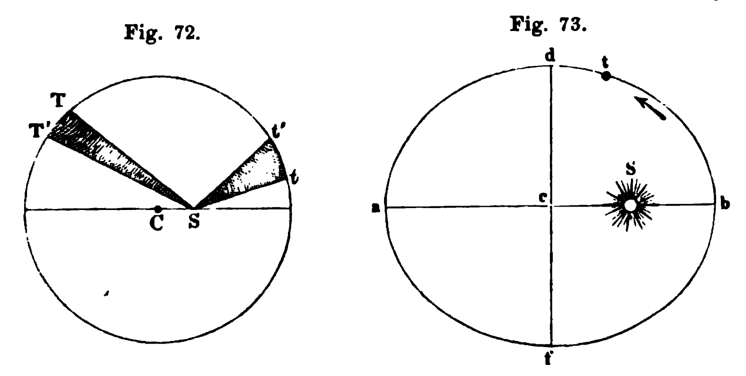


Fig. 72. Fig. 73.

abweicht. In unserer Figur ist die Excentricität viel zu gross genommen, damit die elliptische Gestalt deutlicher hervortrete. Die kleine Axe *df* der Erdbahn verhält sich zur grossen Axe *ab* wie 0,99986 zu 1.

Wenn sich die Erde in *b*, dem einen Endpunkte der grossen Axe, befindet, so ist sie in der Sonnennähe, im Perihelium; ihre grösste Entfernung von der Sonne erreicht sie im anderen Endpunkte *a* der grossen Axe; hier ist die Erde in der Sonnenferne, im Aphelium.

Am 1. Januar ist die Sonne im Perihelium, am 1. Juli ist sie im Aphelium.

Die Apsidenlinie macht einen Winkel von ungefähr 10 Grad mit der geraden Linie, welche die Solstitialpunkte verbindet.

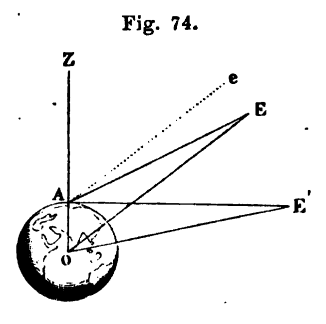
Im Perihelium ist die fortschreitende Bewegung der Erde in ihrer Bahn am schnellsten, im Aphelium ist sie am langsamsten.

Entfernung der Sonne von der Erde. Wir haben bisher 42
nur das Verhältniss betrachtet, in welchem sich die Entfernung der Sonne

von der Erde im Laufe eines Jahres ändert, ohne dass von der absoluten Grösse dieser Entfernung die Rede gewesen wäre.

Zur Bestimmung der Entfernung eines Gestirnes von der Erde werden dieselben Grundsätze in Anwendung gebracht, welche man auch anwendet, um die Entfernung eines unzugänglichen Punktes auf der Erde zu ermitteln. — Wenn man von einem Punkte A der Erdoberfläche aus ein Gestirn E, Fig. 74, beobachtet, so sieht man es nicht genau in derselben Richtung, als wenn man sich im Mittelpunkte O der Erde befände; OE oder die damit parallele Linie Ae macht einen kleineren Winkel mit der Verticalen OAZ als die Visirlinie AE. Der Winkel eAE oder der ihm gleiche Winkel AEO wird nun die Parallaxe des Gestirnes E genannt. Die Parallaxe ist also nichts Anderes als der Winkel, um welchen sich die Zenithdistanz des Gestirnes vermindern würde, wenn man vom Beobachtungsorte A zum Mittelpunkte der Erde herabsteigen und von dort aus das Gestirn E beobachten könnte.

Fig. 74.



Die Parallaxe eines Gestirnes wird ein Maximum sein, wenn sich dasselbe in der Horizontalebene des Beobachtungsortes A befindet, wie E'. In diesem Falle wird die Parallaxe mit dem Namen der Horizontalparallaxe bezeichnet. Die Horizontalparallaxe eines Gestirnes ist der Winkel, unter welchem der Halbmesser der Erde, von jenem Gestirn aus gesehen, erscheint.

Ist der Durchmesser der Erde und die Horizontalparallaxe eines Gestirnes bekannt, so kann man daraus die Entfernung desselben von der Erde berechnen.

Da der Mittelpunkt der Erde unzugänglich ist, so kann die Horizontalparallaxe auch nicht unmittelbar gemessen werden. Um sie zu finden, muss man gleichzeitig die Zenithdistanz des Gestirnes mit grosser Genauigkeit an zwei Orten der Erde messen, welche bei nahe gleicher geographischer Länge möglichst weit von einander entfernt sind. Aus diesen Messungen lässt sich dann, wie wir bald sehen werden, die Horizontalparallaxe ableiten.

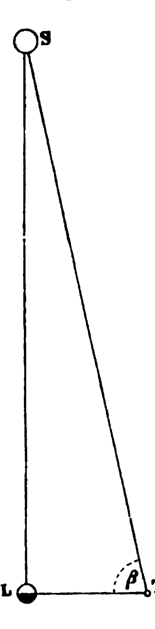
Je weiter ein Gestirn von der Erde entfernt ist, desto kleiner wird seine Parallaxe, und desto schwieriger wird es, sie mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen, weil alsdann die unvermeidlichen Beobachtungsfehler einen viel zu bedeutenden Bruchtheil des gesuchten Werthes ausmachen und die geringste Verschiedenheit im Werthe der Horizontalparallaxe schon enorme Veränderungen im Werthe der Entfernung des Gestirnes nach sich zieht. Die Parallaxe der Sonne ist schon viel zu klein, als dass man sie auf dem angedeuteten Wege mit einer Genauigkeit ermitteln könnte, welche auch nur eine angenähert richtige Bestimmung

der Entfernung der Sonne von der Erde zuliesse; nur auf indirectem Wege lässt sich diese für die Astronomie so wichtige Grösse mit hinreichender Genauigkeit bestimmen und daher kommt es denn auch, dass man noch bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts ganz unrichtige Vorstellungen von der Entfernung der Sonne hatte.

Man nahm diese Entfernung früher stets zu klein an. Aristarch von Samos bestimmte die Horizontalparallaxe der Sonne zu 3′, wonach ihre Entfernung von der Erde 1146 Erdhalbmesser betragen würde. Kepler war geneigt, die fragliche Parallaxe auf 1′ zu reduciren und Halley nahm sie nur zu 25″. Alle diese Werthe waren aber noch zu gross.

Was nun die indirecten Methoden zur Bestimmung der Entfernung der Sonne von der Erde betrifft, so gründen sie sich darauf, dass man zunächst die Entfernung solcher Gestirne zu bestimmen sucht, welche entweder, wie der Mond, der Erde stets näher sind als die Sonne, oder welche, wie Mars und Venus, wenigstens in gewissen Zeiten ihr näher kommen, und alsdann von diesen auf die Entfernung der Sonne schliesst.

Fig. 75.



Wie wir im fünften Capitel sehen werden, ist der Mond sehr nahe um 60 Erdhalbmesser von dem Mittelpunkte der Erde entfernt. Wenn man nun in dem Moment, in welchem der Mond gerade das erste oder letzte Viertel zeigt, wo also die Grenze zwischen dem erleuchteten und dem dunkeln Theile des Mondes genau eine gerade Linie bildet, den Winkelabstand zwischen Sonne und Mond misst, so hat man damit die nöthigen Data, um die Entfernung der Sonne von der Erde zu berechnen. In Fig. 75 sei T die Erde, L der Mond, S die Sonne. In dem besprochenen Zeitpunkte steht die Linie SL rechtwinklig auf LT; da man nun den Winkel STL, den wir mit β bezeichnen wollen, gemessen hat, so ergiebt sich

$$TS = \frac{LT}{\cos \beta}.$$

Auf diesem Wege, der zuerst von Aristarch zur Bestimmung der Sonnenentfernung benutzt wurde, hat in der That Vendelin die Entfernung der Sonne von der Erde annähernd genau bestimmt; einer grösseren Schärfe ist jedoch diese Methode nicht fähig, weil man nicht mit grosser Genauigkeit den Augenblick ermitteln kann, wo jene Lichtgrenze des Mondes eine gerade Linie ist.

Hat man die Horizontalparallaxe des Mars, der Venus oder eines anderen Planeten, also die Entfernung dieser Planeten von der Erde, zur Zeit ihrer Erdnähe ermittelt, so kann man mit Hülfe des im nächsten

Capitel zu besprechenden dritten Kepler'schen Gesetzes die Entfernung der Sonne berechnen. Nach dieser Methode wurde in der That die Entfernung der Sonne angenähert richtig bestimmt. Die Vergleichung der Marsbeobachtungen, welche Richer auf der bereits auf Seite 68 erwähnten Reise angestellt hatte, mit den gleichzeitigen Observationen von Picard und Römer in Paris, ergab für den Mars eine Parallaxe von 25,5″, woraus für die Sonnenparallaxe ein Werth von 9,5″ folgt. Aus später beobachteten Marsoppositionen wurden noch grössere Werthe der Sonnenparallaxe (10″ ja 10,7″) berechnet.

Im Jahre 1862 hat man den Mars zur Zeit seiner Opposition auf verschiedenen Sternwarten der nördlichen und südlichen Hemisphäre (Pulkowa, Greenwich, Washington, Cap der guten Hoffnung, Santiago de Chili u. s. w.) auf das Sorgfältigste beobachtet. Aus der Discussion dieser Meridianbeobachtungen des Mars hat nun der amerikanische Astronom Newcomb den Werth der Sonnenparallaxe zu 8,85 Secunden abgeleitet.

Im Jahre 1691 hatte Halley darauf aufmerksam gemacht, dass die seltene, im nächsten Capitel näher zu besprechende Erscheinung eines Vorüberganges der Venus vor der Sonnenscheibe ein Mittel bietet, die Parallaxe der Sonne weit genauer zu bestimmen, als nach den bisher besprochenen Methoden. Mit Ungeduld erwartete man deshalb die nächste ekliptische Conjunction dieses Planeten, welche am 5. Juni 1761 stattfand, und aus deren Beobachtung sich ein zwischen 8″ und 9″ liegender Werth für die Sonnenparallaxe ergab.

Der nächste Venusdurchgang, welcher am 3. Juni 1769 stattfand, wurde mit möglichster Genauigkeit an verschiedenen, möglichst vortheilhaft gelegenen Orten der Erde beobachtet. Aus einer Combination aller damals gemachten zuverlässigen Beobachtungen leitete Encke 8,6″ als den Werth der Horizontalparallaxe der Sonne ab.

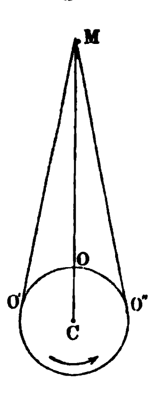
In dem jetzigen Jahrhundert haben zwei Venusdurchgänge stattgefunden, am 8. December 1874 und 6. December 1882, von denen im folgenden Capitel näher die Rede sein wird. Ein definitives Resultat, bei welchem die Gesammtheit der angestellten Beobachtungen berücksichtigt ist, wurde bisher noch nicht abgeleitet, indessen lassen vorläufige Berechnungen darauf schliessen, dass die Sonnenparallaxe sich nahezu zu 8,8″ ergeben wird.

Von Galle ist im Jahre 1872 vorgeschlagen, einige der Asteroïden zwischen Mars und Jupiter zur Bestimmung ihrer eigenen und der Parallaxe der Sonne zu benutzen. Im Durchschnitt ist zwar die Entfernung dieser Himmelskörper von der Erde zur Zeit ihrer Opposition erheblich grösser als die des Mars und der Venus, aber dafür ist ihre Anzahl sehr gross, so dass die Beobachtungen in verhältnissmässig kurzer Zeit sehr vervielfältigt werden können, und ausserdem sind die helleren unter ihnen, weil sie im Fernrohre als vollkommen fixsternartige Punkte ohne merkbaren Durchmesser erscheinen, mit grösserer Genauigkeit als Mars und Venus zu beobachten. So fand Galle aus Beobachtungen der

Flora, die im Jahre 1873 auf nördlichen und südlichen Sternwarten ausgeführt wurden, die Sonnenparallaxe zu 8,87″.

Es ist übrigens leicht zu ersehen, dass die Parallaxe eines Gestirnes bestimmt werden kann, ohne dass es dazu nöthig wäre, gleichzeitige Beobachtungen des Gestirnes an zwei weit von einander entfernten Orten anzustellen, sondern man kann dasselbe durch Beobachtungen an einem einzigen Orte erreichen. Es sei M (Fig. 76) ein Planet, von dem wir der Einfachheit wegen zunächst annehmen wollen, dass er sich in der Nähe des Himmelsäquators befindet, C der Mittelpunkt der Erde, und die tägliche Bewegung der Erde geschehe in der Richtung des Pfeiles. Es stehe nun der Planet für einen Beobachter in O im Zenith, so erscheint er demselben offenbar in derselben Richtung, in welcher er vom Mittelpunkte der Erde aus erscheinen würde. Wenn nun der Beobachtungsort sich in Folge der täglichen Bewegung der Erde nach O' bewegt hat, so wird der Planet im Horizont erscheinen und im Begriffe stehen, unterzugehen. In diesem Falle erscheint er um den Winkel $O'MC$ an einem anderen Orte als vom Erdmittelpunkte aus. Dieser Winkel ist aber nichts Anderes als die Horizontalparallaxe des Planeten. Wenn dann der Beobachtungsort nach O'' gerückt ist, so geht der Planet wieder auf, und erscheint wieder um denselben Winkel verschoben, aber im entgegengesetzten Sinne, so dass der Unterschied der in O' und O'' gesehenen Richtungen gleich dem doppelten Betrage der Horizontalparallaxe ist. Man kann demnach aus genauen Beobachtungen, die an demselben Orte zur Zeit des Auf- und Unterganges des Planeten angestellt werden, den Betrag seiner Horizontalparallaxe finden. Hier haben wir nun vorausgesetzt, dass der Beobachtungsort sich auf dem Aequator der Erde befindet; in anderen Breiten wird der Unterschied der Richtungen beim Auf- und Untergange geringer und in der Nähe der Pole ganz unmerklich — auch können Beobachtungen in der unmittelbaren Nähe des Horizontes nicht mit Sicherheit angestellt werden. Aber wenn auch diese Extreme der Wirkung der Parallaxe, welche eintreten, wenn

Fig. 76.



1) der Planet am Himmelsäquator steht, d. h. seine Declination $= 0^0$ ist,
2) die geographische Breite des Beobachtungsortes $= 0^0$ ist,
3) die Beobachtungen in unmittelbarer Nähe des Horizontes angestellt werden,

nicht erreicht werden können, so werden doch die Beobachtungen in der Nähe des Auf- und Unterganges die Wirkung der Parallaxe ebenfalls, wenn auch in geringerem Maasse, ermitteln lassen. Schon Tycho Brahe und Kepler versuchten sich dieser Methode zu bedienen, um die Parallaxe des Mars zu bestimmen, erhielten aber kein sicheres Resultat wegen

der Unvollkommenheit ihrer Instrumente. Cassini fand die Parallaxe des Mars auf demselben Wege schon ziemlich nahe richtig, ebenso später Flamsteed und Bradley, und in neuerer Zeit (im Jahre 1874) ist dieselbe Methode von Lindsay und Gill auf der Insel Mauritius bei dem Planeten Juno, und von Gill 1877 auf der Insel Ascension bei dem Planeten Mars mit Erfolg angewandt worden.

Eine andere ebenfalls recht sichere Methode zur Bestimmung der Sonnenentfernung besteht in genauen Beobachtungen des Mondes. Die Bewegung des Mondes von der Erde erleidet nämlich bedeutende Störungen durch die Anziehung der Sonne, oder vielmehr durch den Unterschied der Anziehungen, welche die Sonne auf den Mond und auf die Erde ausübt. Der Betrag dieser Störungen ist offenbar abhängig von der Entfernuug der Sonne, und man kann die letztere ermitteln, wenn die Störungen selbst bekannt sind. Ein Theil dieser Störungen hängt nämlich ab von dem Verhältniss der Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde, und dieses Verhältniss lässt sich aus dem Betrage der Störungen ermitteln. Da nun auch die Entfernung des Mondes von der Erde bekannt ist, so kann man daraus die Entfernung der Sonne von der Erde ableiten.

Eine andere Methode zur Bestimmung der Sonnenentfernung beruht auf der Ermittelung der Geschwindigkeit des Lichtes. Nach neueren Untersuchungen von Cornu ist der Weg, den das Licht in einer Secunde durchläuft, auf sehr sinnreiche Weise zu 298 500 km oder 40 229 geographischen Meilen ermittelt worden (siehe Lehrbuch der Physik, 8. Aufl., Bd. 2, S. 9). Aus dem Phänomen der Jupiterstrabanten-Verfinsterungen (siehe II. Buch, 1. Capitel) kennt man aber auch die Zeit, welche das Licht gebraucht, um die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne zu durchlaufen, und somit kann man auch diese Entfernung selbst ableiten.

Nehmen wir 8,8″ für den mittleren Werth der Horizontalparallaxe der Sonne an, so ist der Abstand der Erde von der Sonne gleich

$$\frac{1}{tang\,8{,}8''} = \frac{1}{0{,}00\,004\,266} = 23\,440 \text{ Erdhalbmessern.}$$

Da der Erdhalbmesser gleich 6378 km ist (S. 62), so beträgt demnach die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne 149,5 Millionen Kilometer oder rund 20 Millionen geographische Meilen.

Um diese Strecke zu durchlaufen, würde eine Kanonenkugel ungefähr 12 Jahre gebrauchen.

43 **Dimensionen der Sonne.** Nach §. 37 erscheint uns der Durchmesser der Sonne, wenn sie sich in ihrer mittleren Entfernung von der Erde befindet, unter einem Winkel von 32′ 3,0″ oder 1923,0″, während umgekehrt, dem vorigen Paragraphen zufolge, die Erde von der Sonne aus gesehen, nur unter einem Winkel von 17,6″ erscheint. Der Durch-

messer der Sonne ist demnach $\frac{1923,0}{17,6}$, also 109mal so gross, als der Durchmesser der Erde.

Daraus folgt dann weiter, dass der körperliche Inhalt der Sonne 1 295 029mal grösser ist, als das Volumen der Erde.

Der Durchmesser der Sonne beträgt 1 394 000, der Umfang derselben nahezu 4 379 000 km.

Die Fig. 77 dient dazu, eine Vorstellung von dem Grössenverhältniss der Sonne und der Erde zu geben. Unterhalb des grossen weissen

Fig. 77.



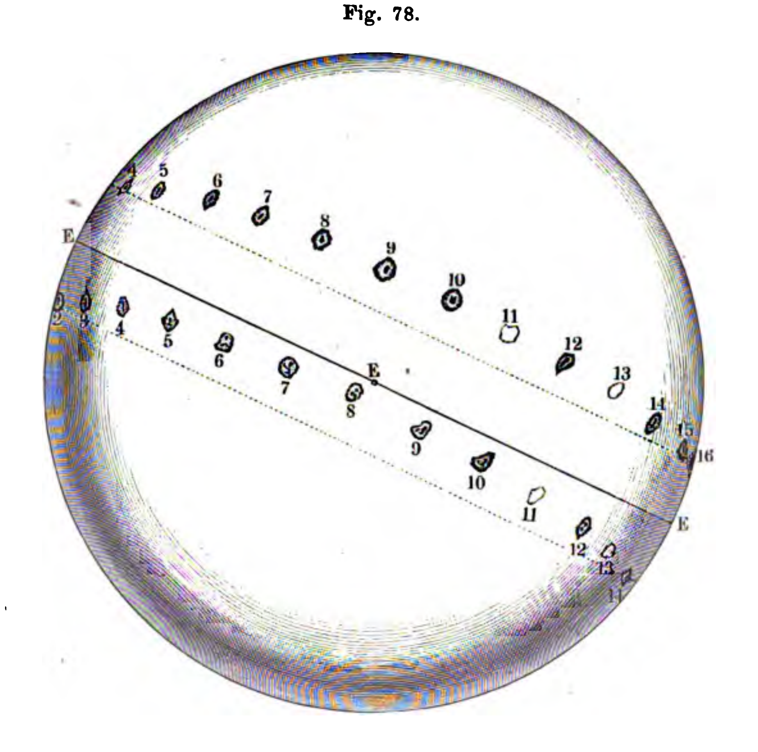
Kreises, welcher die Sonne darstellt, befindet sich ein ganz kleiner weisser Kreis, welcher die Erde im richtigen Verhältniss zur Sonne darstellt. Rechts von der Erde sieht man in verhältnissmässiger Entfernung den Mond. Man sieht, dass eine Kugel, deren Halbmesser die Entfernung des Mondes von der Erde ist, kaum mehr als den halben Radius der Sonne haben würde. Wenn also die Sonne hohl wäre und die Erde sich in ihrem Mittelpunkte befände, so könnte der Mond in seiner jetzigen Entfernung von der Erde noch um dieselbe kreisen, und würde doch der äusseren Sonnenhülle nur unbedeutend näher seiu als ihrem Mittelpunkte.

Die Mittelpunkte der beiden Kreise, welche in Fig. 77 Sonne und Erde im richtigen Grössenverhältniss darstellen, müssten in eine Entfernung von 16,5 m gebracht werden, wenn diese Entfernung sich zu dem Durchmesser der weissen Scheibe in Fig. 77 ebenso verhalten sollte, wie die Entfernung der Erde von der Sonne zum Durchmesser der Sonne.

In den oberen Ecken der Fig. 77 sieht man noch im richtigen Grössenverhältniss die Planeten Jupiter und Saturn dargestellt, von welchen später die Rede sein wird.

44 **Die Axendrehung der Sonne.** Auf der Sonnenoberfläche erscheinen häufig dunkle Flecken, deren physikalische Natur wir später

Fig. 78.



betrachten wollen und von denen hier nur vorläufig die Rede sein muss, weil sich mittelst derselben die Axendrehung der Sonne nachweisen und annäherungsweise bestimmen lässt. Die Sonnenflecken erscheinen am östlichen Rande der Sonne und schreiten in einer meist schwach gekrümmten Linie über die Sonnenscheibe hin, um nach ungefähr 14 Tagen am westlichen Sonnenrande zu verschwinden. Oefters sieht man denselben Fleck, nachdem er am westlichen Rande verschwunden und ungefähr 14 Tage lang unsichtbar geblieben ist, am östlichen Sonnenrande wieder

erscheinen, um einen zweiten, zuweilen sogar einen dritten Umlauf zu machen.

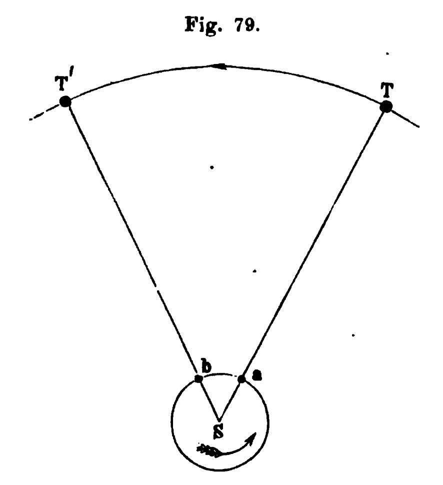
Fig. 78 enthält die Bahn zweier Flecken, welche Scheiner vom 2. bis zum 14. März 1627 beobachtet hat: Am 11. und 13. März konnten die Sonnenflecken wegen bewölkten Himmels nicht beobachtet werden.

In der Nähe des östlichen und westlichen Sonnenrandes ist das tägliche Fortschreiten der Flecken in ihrer Bahn weit langsamer, als gegen die Mitte der Sonnenscheibe, und ebenso erscheinen Flecken, welche in dem mittleren Theile der Sonnenscheibe rundlich aussehen, in der Richtung ihres Fortschreitens stark verkürzt, so lange sie sich in der Nähe der Sonnenränder befinden.

Diese Bewegung der Sonnenflecken ist nun nicht allein ein Beweis für die Axendrehung der Sonne, sondern sie macht es auch möglich, ihre Rotationsdauer wenigstens mit annähernder Genauigkeit zu bestimmen. In der Regel vergehen $27^1/_2$ Tage zwischen zwei auf einander folgenden Erscheinungen desselben Fleckens am Ostrande der Sonne oder zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen desselben Fleckens durch die Mittellinie der Sonnenscheibe und danach sollte man auf den ersten Blick meinen, dass die Rotationsdauer der Sonne 27,5 Tage betrüge; bei näherer Betrachtung zeigt sich aber bald, dass dem nicht so ist.

In Fig. 79 stelle S die Sonne dar, welche in der Richtung des kleinen gefiederten Pfeiles rotirt. Es befinde sich in a ein Sonnenfleck, welcher, von der eben in T befindlichen Erde aus gesehen, gerade in der Mitte der Sonnenscheibe erscheint. Bis derselbe Fleck abermals in der Mitte der Sonnenscheibe erscheint, vergehen aber 27,5 Tage und unterdessen ist die Erde in ihrer Bahn in der Richtung des ungefiederten Pfeiles bis T' fortgeschritten. Von T' aus gesehen erscheint aber der Fleck in der Mitte der Sonnenscheibe, wenn er sich in b befindet, er hat also unterdessen nicht nur eine ganze Umdrehung von a bis a gemacht, sondern er hat auch noch überdies den Bogen ab durchlaufen.

Fig. 79.



Der Bogen TT' wird von der Erde in 27,5 Tagen durchlaufen, er überspannt also (im Durchschnitt) einen Winkel von

$$\frac{360}{365}\ 27.5 = 27.1 \text{ Graden.}$$

Zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen des Sonnenfleckens durch die Mittellinie der Sonnenscheibe hat er also einen Bogen von $360 + 27{,}1 = 387{,}1$ Graden zurückgelegt, zur Durchlaufung eines Bogens von 360^0 (also zu einer vollen Umdrehung) braucht er also eine Zeit von $\frac{360}{378{,}1} \cdot 27{,}5 = 25{,}56$ Tagen. Die Umlaufszeit der Sonne beträgt also in runder Zahl $25^1/_2$ Tage.

Die Werthe, welche verschiedene Astronomen für die Umlaufszeit der Sonne aus ihren Beobachtungen gefunden haben, weichen fast um einen halben Tag von einander ab. Dieser Unterschied, von dem im 1. Capitel des II. Bandes weiter die Rede sein soll, ist dadurch begründet, dass die Sonnenflecken ziemlich veränderliche Gebilde sind, welche in kurzer Zeit nicht nur wesentliche Gestaltsveränderungen erleiden, sondern auch gänzlich verschwinden und dabei eine unverkennbare eigene Bewegung zeigen.

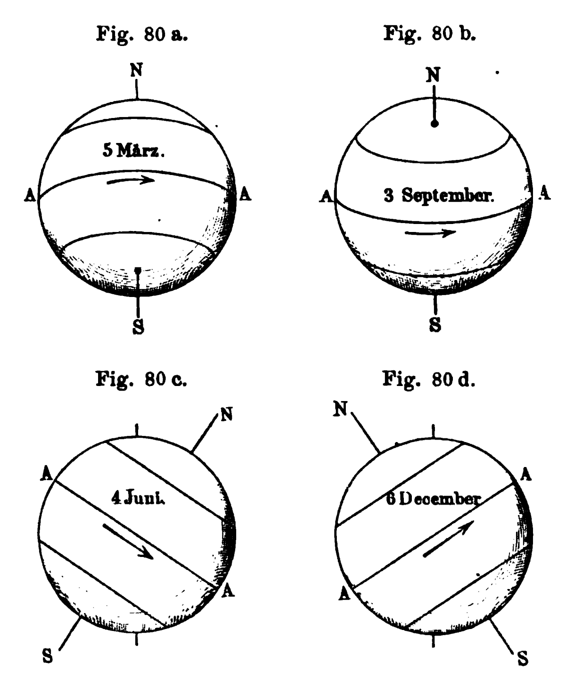


Fig. 80 a. Fig. 80 b. Fig. 80 c. Fig. 80 d.

Von der Erde aus gesehen, ändert sich das Ansehen der von den Sonnenflecken beschriebenen Bahnen mit den Jahreszeiten. Fig. 80 a und 80 b zeigen, wie sie sich ungefähr zu Anfang März und zu Anfang September, Fig. 80 c und 80 d, wie sie sich zu Anfang des Juni und zu Anfang December gestalten.

In Fig. 80 a bis 80 d stellt AA den Sonnenäquator dar. Die Ebene des Sonnenäquators macht einen Winkel von 7^0 mit der Ebene der Ekliptik.

Viertes Capitel.

Die Planeten.

Scheinbare Bewegung der Planeten. Ausser der Sonne 45
und dem Monde giebt es noch andere Gestirne, welche zwar im Ansehen den Fixsternen ähnlich, dennoch ihre Stellung unter denselben fortwährend ändern, und deshalb Wandelsterne oder Planeten genannt werden.

Den Alten waren nur diejenigen Planeten bekannt, welche mit blossem Auge sichtbar sind. Es sind deren fünf: Mercur ☿, Venus ♀, Mars ♂, Jupiter ♃ und Saturn ♄.

Die scheinbaren Bahnen dieser älteren Planeten liegen der Sonnenbahn so nahe, dass sie sich nur um einige Grade nördlich oder südlich von der Ekliptik entfernen. Die Gestalt dieser Bahnen ist aber weit verwickelter als die der Sonnenbahn, wie man sich aus der Betrachtung von Fig. 1, Tab. 3, Tab. 4, Tab. 5 und Tab. 6 überzeugen kann.

Fig. 1, Tab. 3 stellt die Bahn der Venus im Jahre 1847 dar. Vom 1. Januar bis zum 5. September erscheint sie noch ziemlich einfach; die Venus bewegte sich während dieser Zeit wie die Sonne von West nach Ost und ihre Bahn ist der Sonnenbahn ziemlich ähnlich; dann aber bildet sie, eine Zeit lang sich in entgegengesetzter Richtung, d. h. von Ost nach West bewegend, eine förmliche Schleife.

Aehnliche Erscheinungen bieten alle Planeten. Im grössten Theil ihrer Bahn bewegen sie sich von West nach Ost, sie sind dann rechtläufig, während eine kürzere Zeit hindurch ihre Bewegung die entgegengesetzte Richtung hat, d. h. rückläufig ist.

Bei dem kleinen Maassstabe der Fig. 1 auf Tab. 3 ist natürlich keine grosse Genauigkeit möglich, deshalb ist ein Theil der Venusbahn des Jahres 1847, und zwar gerade derjenige, welcher die Schleife enthält, auf Tab. 4 in grösserem Maassstabe dargestellt.

Auf Tab. 5 findet man die scheinbare Bahn des Saturn für die Jahre 1852 und 1853. Dieselbe Figur zeigt auch ein Stück der Mercursbahn von 1852.

Ein Planet erscheint stationär zur Zeit, wo seine rechtläufige Bewegung in eine rückläufige, oder umgekehrt die rückläufige Bewegung

wieder in die rechtläufige übergeht; denn in dieser Zeit sind die Ortsveränderungen der Planeten sehr unbedeutend.

Den Winkelabstand eines Planeten von der Sonne nennt man seine Elongation.

Zwei der genannten Planeten, Mercur und Venus, entfernen sich nie weit von der Sonne. Für den Mercur ist die grösste Elongation 22°, für die Venus kann sie bis auf 48° wachsen. Deshalb sind diese beiden, welche die unteren Planeten genannt werden, auch nur kurz vor Sonnenaufgang am östlichen, oder nach Sonnenuntergang am westlichen Himmel sichtbar.

Die übrigen Planeten, welche die oberen Planeten genannt werden, können sich dagegen um alle Winkeldistanzen von der Sonne entfernen.

Wenn ein Planet gleiche Rectascension mit der Sonne oder mit einem anderen Planeten hat, wenn sie also zusammen durch den Meridian gehen, so sagt man, sie seien in Conjunction, und bezeichnet dies durch ☌. Wenn man z. B. in einem astronomischen Jahrbuche findet, dass für den 17. Juli 1890 ♀☌♄, so heisst das, dass an dem genannten Tage Venus und Saturn in Conjunction sind, also (fast) gleichzeitig durch den Meridian gehen.

Wenn ein Planet um 90° von der Sonne absteht, so sagt man, er sei mit der Sonne in Quadratur, und bezeichnet dies durch □. So war z. B. für den 6. April 1887 ♄□☉, d. h. an diesem Tage stand Saturn um 90° von der Sonne ab, die Differenz in der Culminationszeit der Sonne und des Saturn betrug also 6 Stunden.

Wenn ein Planet um 180° von der Sonne absteht, so dass er um Mitternacht culminirt, so sagt man, dass er in Opposition sei, und bezeichnet dies durch ☍. Am 21. April 1887 war ♃☍☉.

Als erste Quadratur [1] wollen wir diejenige bezeichnen, bei welcher der Planet 90° westlich, als zweite Quadratur [2] diejenige, bei welcher er 90° östlich von der Sonne steht. Zur Zeit der ersten Quadratur ist ein Planet in der zweiten Hälfte der Nacht am östlichen Himmel, zur Zeit der zweiten Quadratur ist er in der ersten Hälfte der Nacht am westlichen Himmel sichtbar, während er zur Zeit der Opposition um Mitternacht culminirt, also die ganze Nacht durch sichtbar ist.

Nur die oberen Planeten können, dem oben Gesagten zufolge, mit der Sonne in Quadratur und in Opposition kommen; Mercur und Venus niemals. Dagegen unterscheidet man bei den unteren Planeten eine obere und eine untere Conjunction. Die erstere findet statt, wenn der Planet in rechtläufiger Bewegung die Sonne passirt, wenn er also von ihrer Westseite auf die Ostseite derselben tritt; die untere Conjunction dagegen ist diejenige, bei welcher der Planet in rückläufiger Bewegung an der Sonne vorbeizieht. Bei der oberen Conjunction ist der Planet von der Erde weiter entfernt als die Sonne, bei der unteren Conjunction steht er zwischen Erde und Sonne.

Betrachten wir den Lauf der Planeten näher, so bemerken wir, dass die Abwechselung zwischen recht- und rückläufiger Bewegung in enger Beziehung zur Constellation der Planeten mit der Sonne steht. Die rechtläufige Geschwindigkeit ist für die oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction ein Maximum; dagegen ist die rückläufige Bewegung am schnellsten zur Zeit der Opposition bei den oberen, und der unteren Conjunction bei den unteren Planeten.

Die Bildung der Schleifen in den Planetenbahnen ist also an einen bestimmten Cyclus gebunden, sie wiederholt sich, so oft der Planet mit der Sonne in Opposition oder untere Conjunction kommt. Die Zeit von einer Opposition oder unteren Conjunction bis zur nächsten, also gewissermaassen ein scheinbarer Umlauf des Planeten in Beziehung auf die Sonne, wird die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit genannt; sie hat für die einzelnen Planeten folgende Werthe:

Mercur . . .	115	Tage	21	Stunden
Venus . . .	583	„	22	„
Mars . . .	780	„	0	„
Jupiter . . .	398	„	22	„
Saturn . . .	378	„	2	„

Für die Venus beträgt also die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden unteren Conjunctionen ungefähr 1 Jahr und 7 Monate, für den Mars beträgt die Zeit von einer Opposition bis zur nächsten beinahe 2 Jahre und 2 Monate.

Ferner sehen wir, dass die Planetenbahnen theilweise nördlich, theilweise südlich von der Ekliptik liegen. Das Stück der Saturnsbahn, welches auf Tab. 5 verzeichnet ist, liegt zwar ganz auf der Südseite der Sonnenbahn, allein im Laufe des Jahres 1857 ging es auf die Nordseite derselben über.

Die Punkte, in welchen eine Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, werden die Knoten genannt, und zwar ist der aufsteigende Knoten (☊) derjenige, in welchem der Planet von der Südseite der Ekliptik auf die Nordseite übertritt, während der Punkt, in welchem die bis dahin nördliche Breite des Planeten in eine südliche übergeht, mit dem Namen des niedersteigenden Knotens (☋) bezeichnet wird.

Die Zeit zwischen je zwei auf einander folgenden Durchgängen eines Planeten durch den aufsteigenden Knoten wird die siderische Umlaufszeit (Revolution) des Planeten genannt. Die folgende Tabelle enthält (jedoch nur bis auf Stunden genau) die siderische Umlaufszeit für die mit blossem Auge sichtbaren Planeten:

Mercur			87	Tage	23	Stunden,
Venus			224	„	17	„
Mars	1	Jahr	321	„	22	„
Jupiter . . .	11	„	315	„	14	„
Saturn . . .	29	„	161	„	22	„

Die nächsten Durchgänge der Venus durch den aufsteigenden Knoten finden statt:

am 3. Januar 1894,
am 5. August 1894,
am 28. März 1895,
am 8. November 1895.

Mars passirt zunächst den niedersteigenden Knoten

am 26. Januar 1894,

den aufsteigenden Knoten:

am 26. November 1894.

Der letzte Durchgang des Jupiter durch den aufsteigenden Knoten fand am 19. Mai 1883 statt; der nächste wird im März 1895 stattfinden.

Am 17. April 1887 passirte Saturn den aufsteigenden Knoten und im Jahre 1902 wird er den niedersteigenden Knoten passiren.

Die Knoten einer Planetenbahn fallen nicht immer genau auf dieselbe Stelle der Ekliptik, wohl aber liegt die Stelle, in welcher die Planetenbahn die Sonnenbahn schneidet, immer in der Nähe von demjenigen Punkte, in welchem die vorige gleichgerichtete Durchschneidung stattfand. Die siderische Umlaufszeit giebt uns also wenigstens annäherungsweise auch die Zeit, welche der Planet braucht, um scheinbar das ganze Himmelsgewölbe zu umlaufen, und so giebt uns denn die siderische Umlaufszeit einen Anhaltspunkt, um zu beurtheilen, wie schnell sich im Allgemeinen die einzelnen Planeten am Himmel fortbewegen. Mercur braucht, um seinen Umlauf durch den ganzen Thierkreis zu vollenden, ungefähr drei Monate; er verändert also seine Stellung am Himmel schneller als alle anderen Planeten. Die Geschwindigkeit der Ortsveränderung unter den Sternen nimmt in dem Maasse ab, als die Umlaufszeit des Planeten grösser wird. Jupiter schreitet im Laufe eines ganzen Jahres nur um ungefähr 30° unter den Gestirnen weiter, Saturn nur um 12°.

46 **Die scheinbare Bahn des Mars in den Jahren 1870 — 1871 und die nächsten Sichtbarkeitsperioden grösserer Planeten.** Um die scheinbare Bahn eines Planeten am Himmel selbst zu verfolgen, ist keiner geeigneter als der Mars. Von Mercur kann in dieser Beziehung nicht die Rede sein, weil er überhaupt nur selten sichtbar wird. Venus glänzt zwar herrlich am Morgen- oder Abendhimmel, sie legt in kurzer Zeit eine grosse Bahn am Himmelsgewölbe zurück, allein man kann diese Bahn unter den Fixsternen nicht verfolgen, weil Venus nur in der Dämmerung erscheint, also zu einer Zeit, in welcher kaum Sterne erster Grösse in ihrer Nähe sichtbar werden. Jupiter und Saturn erscheinen allerdings am vollen Nachthimmel, ihre Bewegung unter den Fixsternen ist aber bei weitem nicht so rasch und auffallend wie die des Mars.

Eine sehr instructive Sichtbarkeitsperiode dieses Planeten war die vom October 1870 bis zum August 1871.

Am 12. März 1870 waren Sonne und Mars in Conjunction, an diesem Tage gingen also diese beiden Gestirne fast gleichzeitig durch den Meridian, Mars konnte also nicht gesehen werden.

Sonne und Mars schritten nun in ihrer scheinbaren Bahn am Himmelsgewölbe von West nach Ost voran, weil aber die Sonne in dieser Richtung rascher voranschreitet als Mars, so musste sich Mars mehr und mehr nach Westen hin von der Sonne entfernen, also früher aufgehen als die Sonne und zwar nach einiger Zeit um 1, um 2, um 3 u. s. w. Stunden, der Mars wurde also wieder sichtbar, als er noch vor anbrechender Morgendämmerung am östlichen Himmel aufging, er wurde also zuerst in den Morgenstunden wieder sichtbar. Es fand dies zunächst wieder statt im Mai 1870.

Der Aufgang des Mars fand für das mittlere Deutschland im Jahre 1870 statt:

am	6. Mai	um	4	Uhr	Morgens,
„	31. „	„	3	„	„
„	30. Juni	„	2	„	„
„	26. August	„	1	„	„
„	30. November	um	Mitternacht,		

im Jahre 1871 fand der sichtbare Aufgang des Mars statt:

am	1. Januar	um	11^h	11^m	Abends,
„	15. „	„	10	37	„
„	1. Februar	„	9	47	„
„	15. „	„	8	50	„
„	1. März	„	7	41	„
„	15. „	„	6	19	„

Von da an fand der Aufgang des Mars schon bei Tage statt. Der Weg, welchen Mars vom 24. October 1870 an am gestirnten Himmel durchlief, ist auf Tab. 6 dargestellt. Am 24. October 1870 erblickte man ihn etwas nördlich von Regulus; nach Osten hin fortschreitend, entfernte er sich aber rasch von diesem Hauptstern des grossen Löwen, wie man aus der Figur ersieht, in welcher die Positionen des Mars für den 12. November, den 2. und den 28. December markirt sind. Ungefähr in der Mitte des December 1870 ging Mars etwas nördlich vom Stern β Virginis vorbei; am 4. Januar 1871 ging er nördlich über η Virginis weg und nun wurde seine rechtläufige Bewegung nach und nach langsamer. Am 9. Februar 1871 erreichte er in der Nähe des Sternes γ Virginis die Grenze seiner rechtläufigen Bewegung und wurde nun rückläufig.

Zunächst war die rückläufige Bewegung des Mars eine langsame, alsbald aber wurde sie rascher, um am 21. März das Maximum ihrer Geschwindigkeit zu erlangen.

Jetzt war Mars in Opposition mit der Sonne, er culminirte um Mitternacht.

In seiner rückläufigen Bewegung ging er nun wieder nördlich über β Virginis vorbei und erreichte die Grenze seiner rückläufigen Bewegung

am 2. Mai, an welchem Tage Mars wieder sehr nahe an derselben Stelle stand, welche er am 4. December 1870 eingenommen hatte.

Von nun an bewegte sich Mars wieder rechtläufig, bis er in den Strahlen der Sonne verschwand. Ende Mai ging er dicht über β Virginis vorüber, lief dann südlich von η und γ Virginis vorbei, um gegen Ende Juli die Spica, den Hauptstern des Sternbildes der Jungfrau zu erreichen.

Zu Anfang Juni 1871 culminirte Mars um 8 Uhr Abends und ging um 1 Uhr Nachts unter, er war nun für den Rest seiner Sichtbarkeit im Jahre 1871 in den Abendstunden am westlichen Himmel sichtbar; seine Culmination und sein Untergang rückten aber immer mehr zurück. Am 26. Juli ging er um Mitternacht, am 25. Juli ging er schon um $10^1/_2$ Uhr unter, zur Zeit also, in welcher Mars in die Nähe der Spica kam, war er nur noch kurze Zeit nach einbrechender Dunkelheit sichtbar, um gegen Ende August ganz in den Strahlen der Sonne zu verschwinden.

So war also Mars von Anfang Mai 1870 bis zur Mitte August 1871 und zwar von Beginn des Jahres 1871 in den Abendstunden sichtbar, man konnte also bei sternhellem Himmel während dieser langen Zeit seine Stellung beobachten und mit der auf Tab. 6 verzeichneten vergleichen.

Die oberen Planeten sind stets in ihrer Oppositionsperiode, also einige Zeit vor und einige Zeit nach der Opposition am besten sichtbar; die geeignetste Zeit ihrer Beobachtung ist demnach die zwischen der ersten und der zweiten Quadratur.

Die nächste Sichtbarkeitsperiode des Mars fällt in das Jahr 1894, und zwar kommt

♂ [1] ☉ 17. Juni,
♂ stationär und wird rückläufig am 15. September,
♂ ☍ ☉ am 20. October,
♂ wird stationär und rechtläufig am 23. November,
♂ [2] ☉ am 5. Februar 1895,
♂ ☌ ☉ am 10. October 1895,
♂ [1] ☉ am 31. August 1896,
♂ stationär und rückläufig am 2. November 1896,
♂ ☍ ☉ am 18. December 1896.

Am 6. December 1893 erreicht Venus ihre grösste östliche Elongation, am 9. Januar 1894 ihren grössten Glanz und am 16. Februar ihre untere Conjunction mit der Sonne. Darauf steht sie am 25. März im grössten Glanze, erreicht am 27. April ihre grösste westliche Elongation, am 30. November ihre obere Conjunction mit der Sonne, am 11. Juli 1895 ihre grösste östliche Elongation, am 14. August ihren grössten Glanz, am 19. September ihre untere Conjunction mit der Sonne, am 26. October ihren grössten Glanz. Am 29. November 1895 steht sie in grösster westlicher Elongation und am 9. Juli 1896 in oberer Conjunction mit der Sonne.

Die nächsten Oppositionen des Jupiter finden am 18. November 1893 und 23. December 1894 in den Zwillingen und am 24. Januar 1896 im Krebs statt, während Saturn am 11. April 1894, 23. April 1895

und 5. Mai 1896 und zwar im Sternbilde der Jungfrau zur Opposition kommt.

Auf den Verlauf der nächsten Sichtbarkeitsperioden werden wir bei Besprechung der einzelnen Planeten noch einmal zurückkommen.

Veränderlichkeit im Glanz und der Grösse der Plane- 47
ten. Die Helligkeit der Planeten ist sehr veränderlich; am geringsten ist sie stets zur Zeit der Conjunction, und bei den unteren Planeten zur Zeit der oberen Conjunction. Wenn sich nun der Planet scheinbar von der Sonne entfernt, so wird sein Glanz grösser, und erreicht bei den oberen Planeten sein Maximum zur Zeit der Opposition.

Wenn die Venus nach der oberen Conjunction sich ostwärts von der Sonne entfernt, so nimmt ihr Glanz fortwährend zu, bis sie ihre grösste Elongation passirt und sich der Sonne wieder bis auf 40^0 genähert hat. In dieser Stellung ist ihr Glanz ein Maximum; darauf nimmt er ab bis zur unteren Conjunction, und wächst dann wieder, bis die Venus sich um 40^0 auf der Westseite von der Sonne entfernt hat, wo dann der Glanz abermals ein Maximum wird.

Aehnlich sind die Variationen im Glanze des Mercur, welcher aber überhaupt nur in der Nähe seiner grössten Elongationen sichtbar ist.

Diese Veränderungen des Glanzes hängen mit den Variationen der scheinbaren Durchmesser der Planeten zusammen. Der Winkel, unter welchem die verschiedenen Planeten erscheinen, ist folgender:

	Zur Zeit der	
	oberen Conjunct.	unteren Conjunct.
Mercur . .	4,5″— 5,2″ . .	9,4″—12,9″
Venus . .	10,2 —10,4 . .	59,5 —68,2
	Conjunction	Opposition
Mars . . .	3,5″— 4,0″ . .	13,7″—25,6″
Jupiter . .	30,8 —33,6 . .	44,6 —50,7
Saturn . .	14,6 —16,2 . .	17,8 —20,3

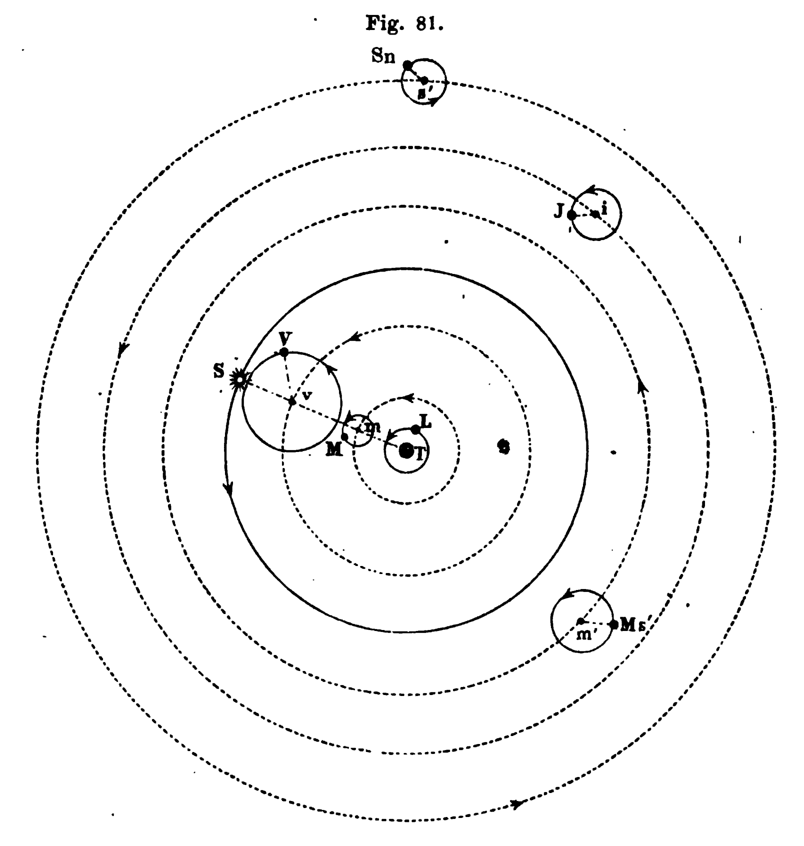
Da die Planeten kein eigenes Licht haben, sondern ihr Licht von der Sonne erhalten, so müssen sie, sowie der Mond, Phasen zeigen. Die Grösse des von der Erde aus gesehenen beschatteten Theiles eines Planeten hängt nun wesentlich von dem Winkel ab, unter dem, vom Planeten aus gesehen, die Erde von der Sonne abzustehen scheint. Dieser Winkel kann bei den unteren Planeten jeden Betrag bis zu 180^0 erreichen, und es können daher diese Planeten zu Zeiten voll beleuchtet erscheinen, während sie uns zu anderen Zeiten nur den beschatteten Theil ihrer Oberfläche zuwenden. Beim Mars kann der genannte Winkel nicht über 37^0 steigen, und in Folge dessen können die Phasen bei diesem Planeten nur verhältnissmässig gering sein, während sie bei Jupiter und Saturn (Grösse der Winkel im Maximum resp. 11^0 und 6^0) überhaupt nicht mehr merklich sind. Die beiden unteren Planeten zeigen genau solche

Phasen wie der Mond. In der Nähe der oberen Conjunction erscheint die Venus als volle Scheibe, zur Zeit der grössten Elongation ist sie ungefähr halb voll, und je mehr sie sich der unteren Conjunction nähert, desto mehr wird sie sichelförmig, während zugleich ihr Durchmesser wächst, wie dies Fig. 2 auf Tab. 3 zeigt.

Mit blossem Auge sind die Phasen der Venus nicht sichtbar; sie wurden von Galiläi mit dem von ihm construirten Fernrohre entdeckt. Wir werden später diesen Punkt noch ausführlicher besprechen.

48 **Das Ptolemäische Planetensystem.** Einer der Ersten, welche es versuchten, die scheinbaren Bahnen der Planeten zu erklären, war

Fig. 81.



Ptolemäus, welcher in der Mitte des zweiten Jahrhunderts unserer Zeitrechnung zu Alexandrien lebte. Er stellte die Erde in die Mitte des Weltalls und um sie sollten dann der Mond, die Sonne und die fünf damals bekannten Planeten kreisen, und zwar ordnete er sie nach ihrer mittleren scheinbaren Geschwindigkeit so, dass diejenigen, welche schneller ihren Ort unter den Fixsternen ändern, die der Erde näheren

sein sollten; von der Erde ausgehend, folgten sich demnach die Planeten sammt Mond und Sonne in folgender Ordnung: Mond, Mercur, Venus, Sonne, Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 81 stellt die Grundidee des Ptolemäischen Systems dar.

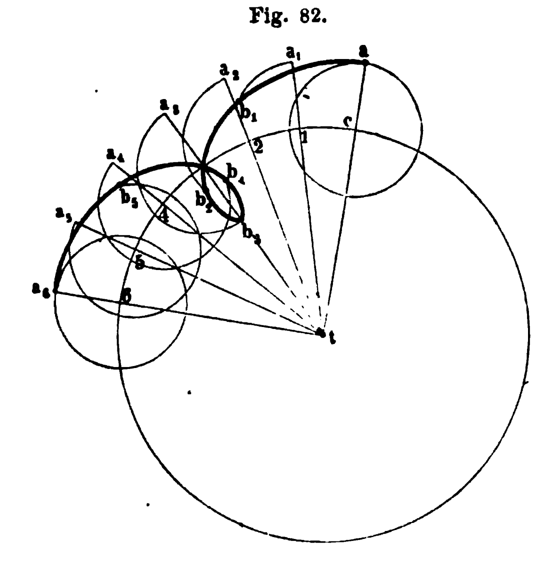
Die Alten unterschieden zweierlei Ungleichheiten im Laufe der Planeten.

Die erste Ungleichheit besteht darin, dass die Planeten sich keineswegs mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen, dass sie bald schneller, bald langsamer in ihrer Bahn voranschreiten, wie wir dies auch schon bei der Sonne gesehen haben.

Diese erste Ungleichheit suchte man, wie bei der Sonne, durch die Annahme des excentrischen Kreises zu erklären.

Die zweite Ungleichheit kommt weder beim Monde noch bei der Sonne, sondern nur bei den Planeten vor; sie besteht darin, dass ihre rechtläufige Bewegung in gewissen Zeiten aufhört und in eine rückläufige, retrograde, sich verwandelt, wodurch dann die erwähnten Schleifen und Schlingen entstehen.

Fig. 82.



Diese zweite Ungleichheit suchte Ptolemäus durch die Theorie der Epicyklen zu erklären, indem er annahm, dass die Planeten nicht unmittelbar in Kreisen um die Erde laufen, wie Mond und Sonne, sondern dass sie sich mit gleichförmiger Geschwindigkeit in Kreisen bewegen, deren Mittelpunkte selbst wieder einen Kreis um einen festen oder auch selbst wieder beweglichen Mittelpunkt beschreiben.

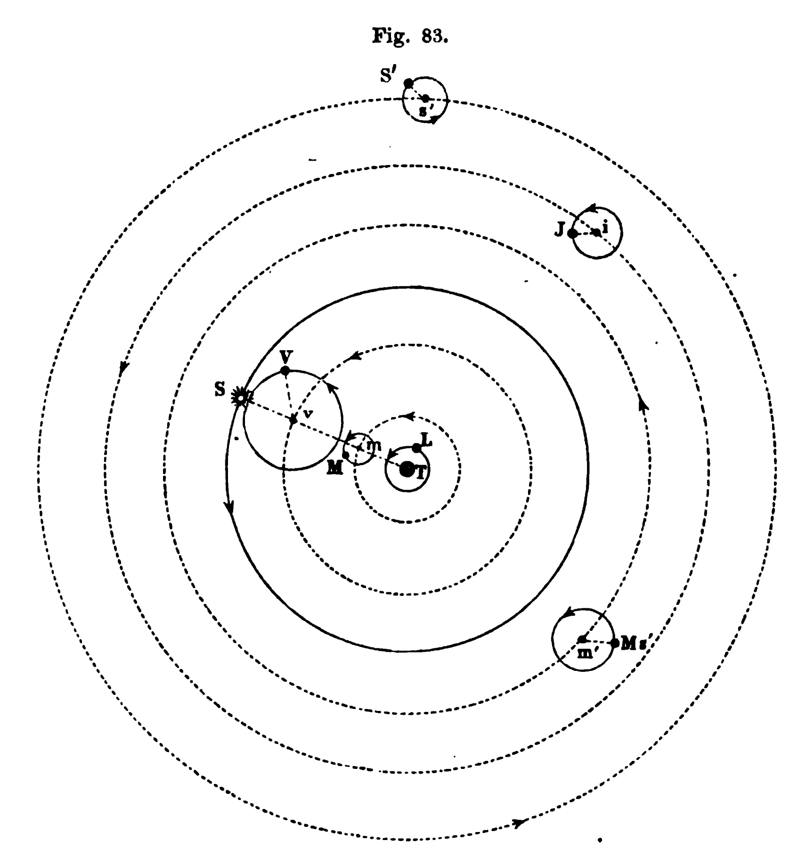
Diese in der That ganz sinnreiche Theorie erklärt der Art nach alle die sonderbaren Unregelmässigkeiten, welche wir bereits kennen lernten. Die Fig. 82 soll das Wesen dieser epicyklischen Bewegung anschaulich machen. Der Körper a bewege sich in einem Kreise, dessen Radius ca ist und dessen Mittelpunkt c selbst wieder einen Kreis um den Punkt t beschreibt, und zwar möge der Körper a einen Umlauf um c vollenden, während dieser Mittelpunkt selbst von c bis 6 fortschreitet. Es ergiebt sich dann leicht aus dem Anblick der Figur, dass a der Reihe nach die Punkte b_1, b_2, b_3 u. s. w. passirt, dass also $a\ b_1\ b_2\ b_3\ b_4\ b_5\ a_6$ der Weg

im Raume ist, den der Körper a in Folge seiner epicyklischen Bewegung zurücklegt.

Eine solche Curve $a\ b_1\ b_2\ b_3$ u. s. w. wird eine Epicykloide genannt.

Der Kreis, in welchem sich a in Beziehung auf den selbst fortschreitenden Mittelpunkt c bewegt, wird der Epicykel genannt; der Kreis aber, welchen der Mittelpunkt c des Epicykels beschreibt, wird der deferirende Kreis oder der Deferent genannt.

Fig. 83.



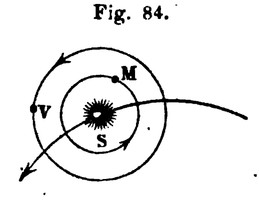
Man sieht wohl ein, dass sich auf diese Weise nicht allein der Stillstand und die rückläufige Bewegung der Planeten im Allgemeinen, sondern auch die eigenthümliche Gestalt der scheinbaren Planetenbahnen recht gut erklären lassen, wenn man bedenkt, dass man die Epicykloide von einem Standpunkte aus betrachtet, welcher etwas über oder unter der Ebene dieser Curve liegt. Was die Gestalt der Epicykloiden betrifft, so hängt dieselbe einerseits von dem Verhältniss der Radien ca und ct des Epicykels und des Deferenten, und dann wieder von dem Ver-

hältniss der Geschwindigkeiten ab, mit welchen die Planeten den Epicykel und der Mittelpunkt des Epicykels den Deferenten durchlaufen.

Um die Schleifenbildung in der scheinbaren Bahn der Planeten zu erklären, müssen wir noch annehmen, dass die Ebene des epicyklischen Kreises nicht mit der des Deferenten zusammenfällt, sondern dass die Ebenen der beiden Kreise einen Winkel von entsprechender Grösse mit einander machen. Fiele die Ebene des Epicykels mit der des Deferenten zusammen, so würde die Bahn des Planeten am Himmelsgewölbe ein grösster Kreis sein, in welchem er sich abwechselnd recht- und rückläufig bewegt.

In Fig. 83 sind die epicyklischen Kreise der verschiedenen Planeten durch ausgezogene, die Deferenten dagegen durch punktirte Kreise angedeutet. Es sind *m*, *v*, *m'*, *i* und *s'* die Mittelpunkte der epicyklischen Kreise, in welchen die Planeten Mercur *M*, Venus *V*, Mars *Ms'*, Jupiter *J* und Saturn *S'* laufen, während diese Mittelpunkte selbst mit gleichförmiger Geschwindigkeit in den entsprechenden punktirten Kreisen fortschreiten.

Fig. 84.



Um zu erklären, dass die unteren Planeten Mercur und Venus sich nicht über eine gewisse Winkelgrösse von der Sonne entfernen, muss man annehmen, dass die Mittelpunkte *m* und *v* der Deferenten des Mercur und der Venus stets auf der geraden Linie *ST* bleiben, welche man von der Sonne zur Erde gezogen denken kann, dass also der Mittelpunkt des Epicykels der beiden unteren Planeten seinen Umlauf in gleicher Zeit vollendet wie die Sonne.

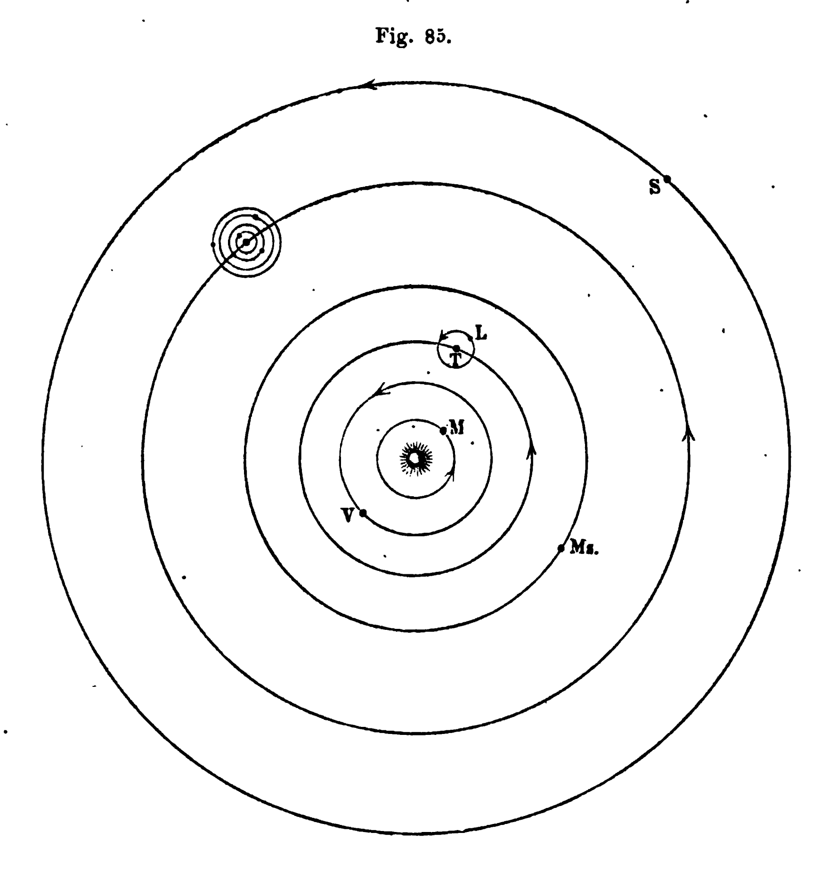
Da die Gestalt der Epicykloide, welche ein Planet beschreibt, nicht von der absoluten Grösse des Deferenten und des Epicykels, sondern nur von dem Verhältniss der Radien dieser beiden Kreise abhängt, da man also, um die scheinbare Bahn eines Planeten nach dem Ptolemäischen System zu erklären, nur das richtige Verhältniss zwischen den Radien der beiden Kreise und den Umlaufszeiten ermitteln muss, während man den Halbmesser des Deferenten vollkommen willkürlich wählen kann, so ist es am einfachsten, für den Deferenten der Venus und des Mercur geradezu die Sonnenbahn zu nehmen, so also, dass Venus und Mercur um die Sonne kreisen, während diese um die Erde herumläuft. Auf diese Weise erleidet das Ptolemäische System für die beiden unteren Planeten die durch Fig. 84 erläuterte Modification, welche gewöhnlich mit dem Namen des Aegyptischen Systems bezeichnet wird.

Uebrigens gelang es Ptolemäus nicht, auf die vorher bezeichnete Weise die Unregelmässigkeiten in den Planetenbewegungen völlig zu erklären, und er wurde gezwungen, noch mehr Kreise anzunehmen, d. h. auf der Epicykloide einen imaginären Punkt von gleichmässiger Bewegung anzunehmen, um den sich der Planet bewegte. Je mehr die Anzahl der

Beobachtungen wuchs, um so mehr solcher Kreise mussten angenommen werden, so dass das Planetensystem nach dem System des Ptolemäus im höchsten Grade verwickelt wurde.

49 **Das Copernicanische Planetensystem.** Copernicus kehrte das Ptolemäische Planetensystem geradezu um, indem er die Sonne als den Mittelpunkt des Weltalls annahm und die Erde in die Reihe der

Fig. 85.



sie umkreisenden Planeten setzte. Um die Sonne zunächst kreisen, nach seiner Annahme, der Mercur und die Venus, dann folgt die Erde, welche wieder vom Monde umkreist wird, ferner Mars, Jupiter und Saturn. Fig. 85 erläutert das Copernicanische System.

Indem Copernicus die Sonne in die Mitte des Planetensystems setzte, gelang es ihm, die zweite Ungleichheit der Planetenbewegung, die zeitweise retrograde Bewegung und die daraus sich ergebende Bildung von Schleifen in den Planetenbahnen ohne Epicykeln zu erklären, indem er diese Erscheinungen lediglich auf die Bewegung der Erde zurück-

führte und so den Erscheinungen Genüge leistete, ohne die Einfachheit des Weltsystemes aufzuopfern.

Er selbst sagt in dieser Beziehung: „Durch keine andere Anordnung habe ich eine so bewunderungswürdige Symmetrie des Universums, eine so harmonische Verbindung der Bahnen finden können, als da ich die Weltleuchte, die Sonne, die ganze Familie kreisender Gestirne lenkend, in die Mitte des schönen Naturtempels wie auf einen königlichen Thron gesetzt."

Fig. 86.

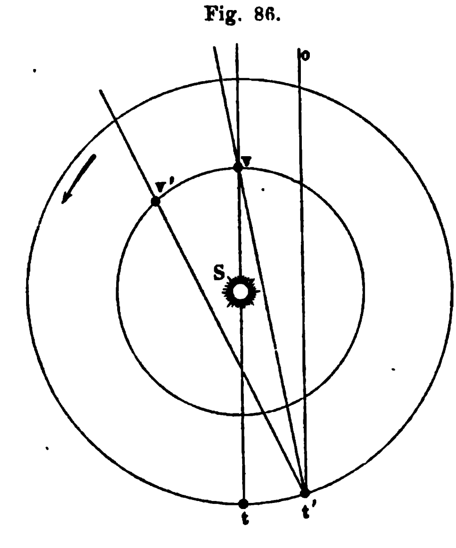
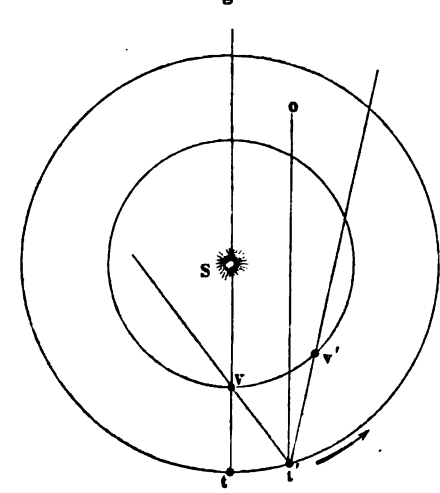


Fig. 87.



Erklärung der Rückläufigkeit nach dem Copernicanischen System. 50

Es wurde bereits oben S. 131 angeführt, dass die Planeten ihre grösste rechtläufige Geschwindigkeit haben, wenn sie, nach Osten sich bewegend, mit der Sonne culminiren, also für die oberen Planeten zur Zeit der Conjunction, für die unteren zur Zeit der oberen Conjunction. Dies ergiebt sich nun als nothwendige Folge aus dem Copernicanischen System. In Fig. 86 sei S die Sonne, t und v die gleichzeitigen Stellungen der Erde und der Venus zur Zeit der erwähnten Conjunction. Wenn nun der Planet stehen bliebe und die Erde sich von t nach t' bewegte, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel $ot'v$ nach Osten bewegt haben ($t'o$ parallel mit tv). Nun aber bewegt sich der Planet selbst noch von v nach v' und dadurch wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Visirlinie noch um den ganzen Winkel $vt'v'$ mehr nach Osten gedreht erscheinen; es summirt sich also hier die wahre Bewegung des Planeten zu der scheinbaren, welche durch das Fortrücken der Erde in ihrer Bahn bewirkt wird.

Befindet sich aber einer der unteren Planeten gerade zwischen der Erde und der Sonne, wie Fig. 87 (a. v. S.) zeigt, so würde sich der Planet scheinbar um den Winkel $ot'v$ nach Osten bewegen, wenn nur die Erde von t nach t' fortschritte und der Planet in v stehen bliebe. Dadurch aber, dass der Planet von v nach v' sich bewegt, wird die von der Erde nach dem Planeten gerichtete Visirlinie wieder um den Winkel $vt'v'$ nach Westen gedreht. Da nun die Planeten, welche der Sonne näher liegen, schneller in ihrer Bahn fortschreiten als die entfernteren, so ist vv' grösser als tt', also der Winkel $vt'v'$ grösser als $ot'v$, folglich wird sich der Planet am Himmel scheinbar nach Westen fortbewegen, während die Erde von t nach t' und der Planet von v nach v' fortschreiten; zur Zeit der unteren Conjunction ist also die Bewegung der Venus und des Mercur eine rückläufige.

Auf ähnliche Weise lässt sich zeigen, dass für die oberen Planeten die scheinbare Bewegung zur Zeit der Opposition rückläufig ist.

51 **Construction der scheinbaren Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System.** Unsere nächste Aufgabe besteht nun darin, zu zeigen, dass der scheinbare Lauf der Planeten am Himmelsgewölbe sich vollständig aus dem Copernicanischen System nicht allein im Allgemeinen erklären, sondern auch in speciellen Fällen übereinstimmend mit der Erfahrung ableiten lässt.

Betrachten wir zunächst den Lauf der Venus vom 3. Juli 1847 bis zum 2. December desselben Jahres, welcher auf Tab. 4 dargestellt ist.

Die Venus änderte im Laufe dieser Zeit ihre Stellung nicht allein in Beziehung auf ihre Länge, sondern auch in Beziehung auf ihre Breite, d. h. sie bewegte sich nicht allein in der Ebene der Ekliptik bald recht-, bald rückläufig, sondern sie änderte auch ihre nördliche oder südliche Entfernung von der Ekliptik. Unsere Aufgabe zerfällt also in zwei Theile; es ist nämlich nachzuweisen, wie

1) die Veränderungen in der Länge, und
2) wie die Veränderungen in der Breite zu erklären sind.

Gehen wir zum ersten Theil der Aufgabe über.

Tab. VI stellt nach dem Copernicanischen System die Bahnen der Venus und der Erde und zwar in dem richtigen Verhältniss ihrer Halbmesser dar. V, V_1, V_2, V_3, V_4 und V_5 sind die Orte, an welchen sich die Venus nach dem genannten Systeme wirklich am 3. Juli, am 4. August, am 5. September, am 7. October, am 8. November und am 2. December befand. An denselben Tagen aber befand sich die Erde in den Punkten T, T_1, T_2, T_3, T_4 und T_5. Am 3. Juli sah man also die Venus in der Richtung TV, am 4. August sah man sie in der Richtung $T_1 V_1$ u. s. w.

Es ist nun zu untersuchen, wo diese Visirlinien auf den Thierkreis treffen. Der Durchmesser der Erdbahn ist verschwindend klein im Vergleich zu der Entfernung der Fixsterne; sollte also in unserer Figur die

Verlängerung der Linie TV die richtige Stelle des Thierkreises treffen, so müsste dieser mit einem so enormen Halbmesser gezogen werden, dass kein Papier ihn aufnehmen könnte; zieht man aber den Thierkreis mit einem kleineren Halbmesser, so braucht man nur parallel mit TV eine Linie durch den Mittelpunkt der Figur zu ziehen, um zu finden, auf welcher Stelle des Thierkreises am 3. Juli die Venus projicirt erschien. Diese durch den Mittelpunkt der Figur gezogene Richtungslinie trifft auf einen Punkt des Thierkreises, welcher ungefähr 32° westlich vom Herbstpunkte (♎ in Fig. 1, Tab. 3, der Punkt, in welchem sich Ekliptik und Aequator schneiden) liegt. Am 3. Juli 1847 war also die Länge der Venus 180° — 32° = 148°.

Auf gleiche Weise ergiebt sich die Länge der Venus:

am 4. August	177°
„ 5. September . . .	196°
„ 7. October	187°
„ 8. November . . .	185°
„ 2. December . . .	203°

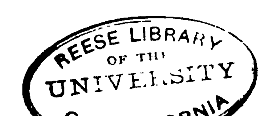
Es ergiebt sich also aus dieser Construction in der That, wie die Venus vom 3. Juli bis zum 5. September rechtläufig war, wie sie dann bald rückläufig wurde, um nach einiger Zeit wieder in die rechtläufige Bewegung überzugehen.

Hätte man dieselbe Construction für jeden Tag des angegebenen Zeitraums gemacht, so hätte man gefunden, dass die Dauer der retrograden Bewegung sich ungefähr vom 10. September bis zum 23. October erstreckt.

Da die scheinbaren Planetenbahnen nicht genau in die Ekliptik fallen, sondern zum Theil auf der Nordseite, zum Theil auf der Südseite derselben liegen, so müssen die Ebenen der wahren Planetenbahnen einen Winkel mit der Ebene der Erdbahn machen. Die Neigung der Venusbahn gegen die Erdbahn beträgt 3°.

Ein Theil der wahren Venusbahn liegt also nördlich, der übrige Theil derselben liegt südlich von der Ebene der Erdbahn. Die Ebene der Tab. VI stellt die Ebene der Erdbahn dar. Die nördliche Hälfte der Venusbahn, welche oberhalb dieser Ebene liegt, ist ausgezogen, während die südlich von der Ebene der Ekliptik liegende Hälfte der Venusbahn punktirt ist.

Der Winkel, welchen die Ebene der Venusbahn mit der Ebene der Erdbahn macht, beträgt, wie schon erwähnt worden ist, 3°. Die beiden Ebenen schneiden sich in einer Linie AB, Tab. VI, welche den Namen der Knotenlinie führt. Die Venus passirt während eines ganzen Umlaufs um die Sonne zweimal die Ebene der Erdbahn, einmal in dem Punkte a, welcher der niedersteigende Knoten genannt und durch ☋ bezeichnet wird, um von der Nordseite der Ekliptik auf die Südseite derselben überzugehen, dann aber wieder im Punkte b, dem aufsteigenden Knoten (☊), welchen sie passirt, wenn die südliche Breite der Venus in eine nördliche übergeht.



Am 3. Juli 1847 befand sich der Tab. VI zufolge die Venus noch nördlich von der Ekliptik, übereinstimmend mit dem scheinbaren Lauf, Tab. 4; sie näherte sich aber dem niedersteigenden Knoten, welchen sie ungefähr am 23. Juli passirte. Von nun an blieb die Breite der Venus eine südliche, bis sie am 11. November wieder den aufsteigenden Knoten passirte; der ganze scheinbare Weg, welchen die Venus vom 23. Juli bis zum 11. November durchläuft, muss also auf die Südseite der Ekliptik fallen, wie auch Tab. 4 zeigt.

Suchen wir nun aber durch Construction die Breite der Venus für eine angegebene Zeit zu ermitteln.

Eine rechtwinklig auf der Knotenlinie AB, Tab. VI, stehende Ebene schneidet die Ebene der Venusbahn in einer Linie CD. In Fig. 88 sei die Ebene des Papiers die auf der Knotenlinie AB rechtwinklig stehende Ebene; CD der Durchschnitt derselben mit der Ebene der Venusbahn, MN ihr Durchschnitt mit der Ebene der Erdbahn, so schneiden sich diese beiden Linien unter einem Winkel von 3°. Soll nun für einen bestimmten Tag, etwa für den 5. September 1847, die Breite der Venus bestimmt werden, so fällt man von ihrem wahren Ort V_2, Tab. VI, ein Perpendikel $V_2 v_2$ auf CD und überträgt alsdann die Länge Sv_2 auf die Linie CD in Fig. 88; die Entfernung des Punktes v_2 von der Linie MN giebt alsdann die wahre Entfernung der Venus von der Ebene der Ekliptik für jenen Tag an. Um aber zu erfahren, wie viel Grade uns, von der Erde aus gesehen, die Venus von der Ekliptik entfernt erscheint, hat man auf MN einen Punkt t_2 zu bestimmen, welcher von v_2 so weit absteht, wie T_2 auf Tab. VI von V_2. Zieht man endlich die Linie $t_2 v_2$, so ist der Winkel, welchen diese Linie mit der Linie MN macht, gleich dem Winkel, um welchen die Venus zur angegebenen Zeit südlich von der Ekliptik erschien; dieser Winkel ist unserer Construction zufolge ungefähr 6°.

Fig. 88.

Für den 5. September 1847 ergiebt sich also aus dieser Construction die Länge der Venus 196° (16° östlich vom Herbstpunkte 0 ♎), die südliche Breite aber gleich 6°.

Durch eine ähnliche Construction ergiebt sich für den 3. Juli die nördliche Breite der Venus gleich $1^1/_2$ Grad, während gleichzeitig ihre Länge 148° (32° westlich vom Herbstpunkte) ist.

Bestimmt man auf ähnliche Weise durch Construction die scheinbaren Oerter der Venus von 8 zu 8 Tagen vom 3. Juli bis zum 2. December 1847, so ergiebt sich in der That der scheinbare Lauf der Venus im angegebenen Zeitraum so, wie er Tab. 4 verzeichnet ist.

Wir haben für einen speciellen Fall nach dem Copernicanischen System ein Stück der scheinbaren Bahn eines Planeten durch Construction abgeleitet. Soll eine solche Construction genaue Resultate liefern, so muss die Zeichnung in grösserem Maassstabe ausgeführt werden, wozu für die nächsten Jahre die Tafeln VIII und X dienen können.

Tab. VIII enthält die Bahnen der Erde und der beiden unteren Planeten, eingetheilt nach täglicher Bewegung; man kann also auf dieser Tafel ersehen:

1. an welcher Stelle ihrer Bahn die Erde an jedem Tage des Jahres Mittags um 12 Uhr steht;

2. an welchen Stellen ihrer Bahnen der Mercur und die Venus an den einzelnen Tagen der nächsten Jahre stehen. Der Zwischenraum zwischen je zwei Theilstrichen der Venusbahn ist der Weg, welchen dieser Planet an einem Tage zurücklegt.

Auf Tab. X sind auf der Erdbahn die Stellen angegeben, in welchen sich die Erde am 1., 11. und 21. eines jeden Monats befand; für dieselben Monatstage findet man auf dieser Tafel die Stellung des Mars für die nächsten Jahre angegeben.

Die Eintheilung der Marsbahn bedarf noch einiger Erläuterung. Die längeren Theilstriche, bei welchen eine Jahreszahl steht, bezeichnen die Stelle, an welcher sich Mars am 1. Januar der genannten Jahre befindet; der Raum zwischen je zwei auf einander folgenden längeren Theilstrichen aber ist der Weg, welchen der Mars im Laufe eines Monats zurücklegt, wonach die Ortsbestimmung des Mars während der genannten Periode wohl keine Schwierigkeit haben wird.

Die an den Bahnen des Jupiter, Saturn und Uranus angebrachten Theilstriche bezeichnen die Stelle, an welcher sich die genannten Planeten am 1. jedes Monats in den beigeschriebenen Jahren befinden.

Nach den oben mitgetheilten Principien unterliegt es nun keiner Schwierigkeit, aus dem auf Tab. VIII und X dargestellten wahren Lauf der Planeten den scheinbaren Lauf abzuleiten.

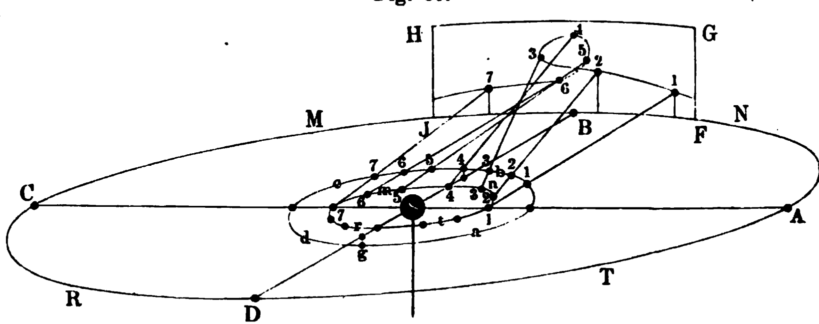
Es versteht sich indessen von selbst, dass man den scheinbaren Lauf der Planeten, von denselben Principien ausgehend, auch durch Rechnung ermitteln kann, und zwar werden die Resultate der Rechnung ungleich genauer sein, als die durch Zeichnung erhaltenen.

Modell zur Erklärung des Planetenlaufs. Um sich an- 52
schaulich zu machen, wie die scheinbare Bahn der Planeten das Resultat einer gleichzeitigen Bewegung des Planeten und der Erde im Sinne des Copernicanischen Systems ist, kann man sich eines aus starkem Draht und Bleikugeln verfertigten Modelles bedienen, welches Fig. 89 (a. f. S.) in etwa $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse schematisch darstellt. Auf einem Eisenstab ist eine Metallkugel S befestigt, welche die Sonne repräsentirt. In S stecken rechtwinklig zu einander vier horizontale Eisenstäbchen SA, SB, SC

und *SD*, welche aussen durch einen Messingring *NMRT* verbunden sind, welcher den Durchschnitt der Ebene der Erdbahn mit dem Himmelsgewölbe, also die Ekliptik darstellt. Concentrisch mit diesem äusseren Ring ist ein kleinerer in derselben Ebene befindlicher Ring *nmrt* von Messingdraht gelegt, welcher die Erdbahn darstellt. Auf dieser Erdbahn sind in gleichen Zwischenräumen 12 Bleikugeln angebracht, welche die Stellen bezeichnen, an welchen sich die Erde in 12 verschiedenen, stets um 30 Tage aus einander liegenden Zeitpunkten befindet. — Die sieben ersten dieser Stellungen sind mit den Zahlen 1, 2, 3 u. s. w. bis 7 bezeichnet.

Um *S* ist aber noch ein dritter Messingring *abcdg* gelegt, welcher die Bahn eines oberen Planeten, etwa des Mars, repräsentirt. Die Ebene dieser Bahn fällt nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammen, denn der Punkt *g* derselben liegt unter *SD*, während der mit 4 bezeichnete Punkt dieser Bahn ebenso hoch über *SB* liegt. Auf diesem Ring sind nun gleichfalls 7 Bleikugeln befestigt, welche in unserer Figur auch mit

Fig. 89.



1, 2, 3 u. s. w. bezeichnet sind, und welche die Orte angeben, in welchen sich der Planet in denselben Zeitpunkten befindet, in denen die Erde die mit gleichen Ziffern bezeichneten Orte der Erdbahn einnimmt.

Der Uebersicht wegen ist es zweckmässig, in dem ausgeführten Modell die entsprechenden Kugeln mit gleichen Farben anzustreichen, also etwa weiss die beiden mit 1 bezeichneten Kugeln, roth die beiden mit 2 bezeichneten u. s. w.; die folgenden Kugelpaare grün, gelb, blau, violett und schwarz.

Die Abstände zweier auf einander folgenden Kugeln, also 1 bis 2, 2 bis 3 u. s. w., müssen natürlich auf der Bahn *abcd* kleiner sein als auf der Erdbahn, weil ja jeder fernere Planet langsamer in seiner Bahn sich fortbewegt als die der Sonne näheren. In unserem Modell verhalten sich die Abstände zweier auf einander folgenden Kugeln auf den beiden Ringen *abcd* und *nmrt* wie 17 zu 23.

Denken wir uns nun von einem bestimmten Orte der Erde über den gleichzeitigen Ort des Mars, also z. B. von 1 der Erdbahn über 1 der

Marsbahn, eine gerade Linie gezogen, so wird diese das Himmelsgewölbe in einem bestimmten Punkte treffen, der in unserem Modell mit derselben Ziffer bezeichnet ist, wie die entsprechenden Oerter der Erde und des Mars. In unserem Modell ist, um diese Projectionen des Mars auf das Himmelsgewölbe aufzeichnen zu können, ein Blechstück *FGHJ* an dem äusseren Ringe befestigt, auf dieses sind die Projectionen des Mars aufgetragen, und zwar mit gleicher Farbe bezeichnet, wie die entsprechenden Positionen der Erde und des Mars, und endlich die drei zusammengehörigen Orte, also z. B. 2 auf der Erdbahn, 2 auf der Marsbahn und 2 auf dem Himmelsgewölbe, durch ein gerade gestrecktes Drahtstück verbunden, welches die von der Erde über den Mars nach dem Himmelsgewölbe gerichtete Visirlinie repräsentirt.

Werden die Marsprojectionen 1, 2, 3...7 auf *FGHJ* durch eine Curve verbunden, wie es in unserer Figur geschehen ist, so stellt diese nun einen Theil der scheinbaren Marsbahn dar. Um die nöthige Anschaulichkeit zu erreichen, muss man von den wahren Grössenverhältnissen abweichen und namentlich die Neigung der Marsbahn bedeutend vergrössern, wie es auch in dem Fig. 89 dargestellten Modell geschehen ist.

Elemente der Planetenbahnen nach dem Copernicanischen System. Nimmt man die Bahnen der Planeten als Kreise an, in deren Mittelpunkt die Sonne steht, und setzt man voraus, dass die Planeten sich auf den Peripherien dieser Kreise mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen, so ist zur vollständigen Bestimmung der Bahnen die Kenntniss der folgenden Elemente erforderlich: 53

1) der Halbmesser der Bahn (der mittlere Abstand von der Sonne);
2) die siderische oder wahre Umlaufszeit;
3) die Neigung der Bahn;
4) die Länge des aufsteigenden Knotens;
5) die heliocentrische Länge des Planeten zu einer bestimmten Epoche.

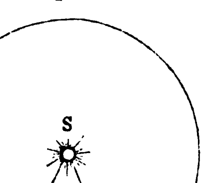
Diese fünf Elemente sind für die sechs älteren Planeten folgende:

	Mittlerer Abstand von der Sonne	Siderische Umlaufszeit	Neigung der Bahn	Länge des aufsteigenden Knotens	Länge, am 1. Jan. 1850 0^h mittlerer Pariser Zeit
Mercur . . .	0,3871	87^t 23^h 16^m	7^0 0,1′	46^0 33′	327^0 15,3′
Venus . . .	0,7233	224 16 49	3 23,6	75 16	245 33,2
Erde . . .	1,0000	365 6 9	0 0		100 46,7
Mars . . .	1,5237	686 23 30	1 51,0	48 24	83 40,5
Jupiter . .	5,2028	4332 14 2	1 18,7	98 56	160 1,2
Saturn . .	9,5389	10759 5 16	2 29,7	112 21	14 52,5

Zur Erläuterung dieser Tabelle sind noch einige Bemerkungen beizufügen.

Im Ptolemäischen System kommt es nur auf das Verhältniss des Deferenten zum Epicykel an, das Verhältniss dagegen, in welchem die Radien der deferirenden Kreise für die verschiedenen Planeten stehen, ist ganz gleichgültig; das Ptolemäische System bietet deshalb auch keinen Anhaltspunkt zur Bestimmung der absoluten oder relativen Entfernung der Planeten vom Centralkörper des Systemes.

Fig. 90.



Anders verhält es sich beim Copernicanischen System; hier hängt die Gestaltung der scheinbaren Planetenbahn wesentlich ab von dem Grössenverhältniss, in welchem der Abstand der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn steht; die Abstände der Planeten von der Sonne gehören im Copernicanischen System zu den wesentlichen Elementen der Bahn.

Eine annähernd genaue Bestimmung dieser Abstände ergiebt sich für die unteren Planeten schon aus einer einzigen, für die oberen Planeten aus der Combination zweier passenden Beobachtungen.

In Fig. 90 sei S die Sonne, der ganze ausgezogene Kreis die Bahn der Venus, der punktirte Bogen ein Stück der Erdbahn. Für die Zeit nun, in welcher uns der Winkelabstand der Venus von der Sonne ein Maximum wird, ist eine von der Erde zur Venus gezogene Linie tv eine Tangente der Venusbahn, es steht also tv rechtwinklig auf vS und es ist also $Sv = tS \,.\, sin\ 46^0$, da der Winkel Stv, das Maximum der Elongation zwischen Venus und Sonne, im Mittel 46^0 beträgt. Wenn wir also den Abstand St der Erde von der Sonne mit 1 bezeichnen, so ist also der Abstand vS der Venus von der Erde gleich 0,72.

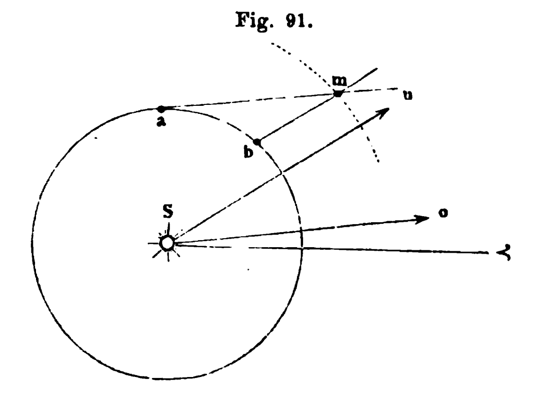
In derselben Weise lässt sich auch die Entfernung des Mercur von der Sonne bestimmen.

Eine annähernd genaue Bestimmung des Abstandes der oberen Planeten von der Sonne ergiebt sich aus der Beobachtung zweier auf einander folgenden Durchgänge derselben durch den aufsteigenden Knoten. So ging z. B. Mars durch den aufsteigenden Knoten am 1. Januar 1846 und dann wieder am 19. November 1847. Die entsprechenden Durchschnittspunkte der scheinbaren Marsbahn mit der Ekliptik lagen aber 7^0 und 33^0 östlich vom Frühlingspunkte; demnach sind So und Sn, Fig. 91, die Richtungen, nach welchen am 1. Januar 1846 und am 19. November 1847 Mars von der Erde aus gesehen ward. Wenn nun aber der innere ausgezogene Kreis die Erdbahn darstellt, so sind a und b die Stellen, welche die Erde in den genannten Tagen einnahm. Zieht man

nun durch a eine Linie parallel mit So, durch b eine zweite parallel mit Sn, so werden sich diese Linien in m schneiden. Dieser Punkt m aber ist offenbar derjenige Punkt der Marsbahn, in welchem sich der fragliche Planet an den genannten Tagen befindet, und Sm ist die Entfernung des Mars von der Sonne, wenn Sa der Abstand zwischen Erde und Sonne ist.

Dass eine solche Bestimmungsweise nicht ganz genau ist, sondern nur eine erste Annäherung liefern kann, versteht sich von selbst, und zwar um so mehr, als der Abstand der Planeten von der Sonne, wie wir bald sehen werden, selbst innerhalb gewisser Grenzen veränderlich ist, was daher rührt, dass die Bahn der Planeten nicht kreisförmig, sondern

Fig. 91.



elliptisch ist. Die Tabelle (S. 147) giebt den mittleren Abstand der Planeten von der Sonne.

Was unter der Neigung der Bahn zu verstehen ist, wird nach dem vorigen Paragraphen klar sein.

Wenn man von der Sonne aus durch den aufsteigenden Knoten einer Planetenbahn eine gerade Linie gezogen denkt, wie AB, Tab. VI, welche von dem Mittelpunkte der Sonne über den aufsteigenden Knoten b der Venusbahn gezogen ist, so trifft diese Linie die Ekliptik in einem bestimmten Punkte B. Der Bogen vom Frühlingspunkte bis zu diesem Punkte ist die (heliocentrische) Länge des aufsteigenden Knotens. So sehen wir aus Tab. VI, dass die Länge des aufsteigenden Knotens der Venus 75° ist.

Die letzte Columne der obigen Tabelle giebt uns die heliocentrische Länge der Planeten für einen bestimmten Zeitpunkt, und zwar für den 1. Januar 1850.

Auf Tab. VII sind die Bahnen der unteren Planeten, der Erde und des Mars, auf Tab. IX die der Erde und der oberen Planeten dargestellt, und zwar ist auf jeder Bahn die Stelle bezeichnet, welche der Planet am 1. Januar 1850 einnahm. Ebenso findet man auf Tab. VII und auf Tab. IX die Lage des aufsteigenden Knotens für jeden Planeten bezeichnet.

Derjenige Theil der Planetenbahnen, welcher südlich von der Ekliptik liegt, also der Weg vom niedersteigenden Knoten bis zum aufsteigenden ist punktirt.

Um die erste Ungleichheit der Planetenbewegung zu erklären, musste auch Copernicus die Theorie des excentrischen Kreises in sein System aufnehmen, d. h. er musste annehmen, dass, wie wir bereits S. 103 in Betreff der Erde gesehen haben, die Sonne mehr oder weniger ausserhalb des Mittelpunktes der Planetenbahnen liege. Auch konnte er der Theorie der epicyklischen Bewegung nicht völlig entbehren, da ohne solche Annahme eine Uebereinstimmung zwischen den beobachteten und berechneten Oertern der Planeten nicht zu erzielen war.

Nach dem Copernicanischen System ist die siderische Umlaufszeit nichts Anderes, als die wahre Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, d. h. die Zeit, welche er braucht, um einen Winkel von 360^0 um die Sonne herum zurückzulegen. Von dieser siderischen Umlaufszeit ist die tropische und die synodische Umlaufszeit zu unterscheiden.

Die tropische Umlaufszeit ist die Zeit, welche zwischen zwei von der Sonne aus gesehenen Durchgängen des Planeten durch den Frühlingspunkt liegt. Wäre der Frühlingspunkt unveränderlich, so wäre die tropische Umlaufszeit der siderischen gleich; wegen des Rückganges des Frühlingspunktes aber ist die tropische Umlaufszeit etwas kürzer.

Die synodische Umlaufszeit ist, wie wir schon oben gesehen haben, die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden gleichnamigen Conjunctionen des Planeten mit der Sonne vergeht, oder auch die Zeit von einer Opposition zur nächsten.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der siderischen, tropischen und synodischen Umlaufszeit der bisher besprochenen Planeten.

	Umlaufszeit		
	siderische	tropische	synodische
Mercur	87^t 23^h 16^m	87^t 23^h 15^m	115^t 21^h
Venus	224 16 49	224 16 41	583 22
Erde	365 6 9	365 5 49	
Mars	686 23 30	686 22 18	780 0
Jupiter	4332 14 2	4330 14 10	398 22
Saturn	10759 5 16	10746 22 30	378 2

Oder es ist nahezu für

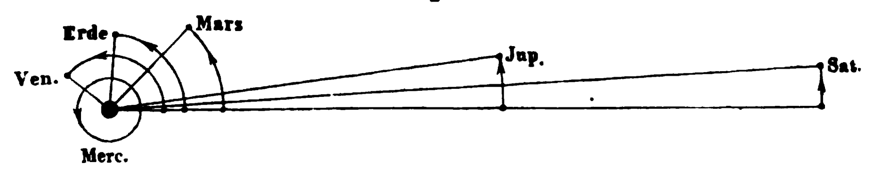
	die Umlaufszeit	
	siderische	synodische
Mercur	0,24 Jahre	0,31 Jahre
Venus	0,61 "	1,60 "
Mars	1,88 "	2,13 "
Jupiter	11,87 "	1,09 "
Saturn	29,47 "	1,03 "

Aus den oben angegebenen Werthen für die siderische Umlaufszeit der Planeten ergiebt sich, dass die Winkelgeschwindigkeit, mit welcher sie sich in ihren Bahnen um die Sonne bewegen, um so geringer ist, je weiter sie von der Sonne abstehen. Während Mercur einen ganzen siderischen Umlauf vollendet, hat der Winkel, welchen der Leitstrahl der übrigen Planeten in der gleichen Zeit zurücklegt, nahezu folgende Werthe:

Mercur	360°
Venus	140,8
Erde	87,8
Mars	46,1
Jupiter	7,3
Saturn	2,9

Dies Verhältniss wird durch Fig. 92 anschaulich gemacht.

Fig. 92.



Aber nicht allein die Winkelgeschwindigkeit, sondern auch die absolute Geschwindigkeit der Planeten in ihren Bahnen ist um so geringer, je grösser ihr Abstand von der Sonne ist. Der Weg, welchen im Durchschnitt die einzelnen Planeten in ihren Bahnen fortschreitend in einer Secunde zurücklegen, ist für

Mercur	48 km
Venus	35 "
Erde	30 "
Mars	24 "
Jupiter	13 "
Saturn	10 "

54 **Die Kepler'schen Gesetze.** Obgleich das Copernicanische System die Grundlage für alle weiteren Entwickelungen der Astronomie bildet, so war durch dasselbe für die praktische Astronomie unmittelbar doch nicht viel gewonnen, denn die nach demselben vorausberechneten Planetenörter stimmten mit den beobachteten Bahnen kaum genauer überein, als die nach den früheren Hypothesen berechneten Oerter. Die Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung ging weit über die Grenze der Beobachtungsfehler hinaus.

Kepler war Jahre lang bemüht, die Grundidee des Copernicanischen Systems adoptirend, dasselbe so zu modificiren, dass man die Bahn der Planeten mit genügender Genauigkeit danach berechnen könne. Blosse Veränderungen in den Elementen der Planetenbahnen führten nicht zum Ziele; die zahlreichen und genauen Beobachtungen des Planeten Mars, welche Tycho Brahe hinterlassen hatte, liessen sich auf diese Weise nicht mit dem Copernicanischen System in Uebereinstimmung bringen.

Zunächst liessen sich die Tychonischen Beobachtungen nicht mit der Annahme in Uebereinstimmung bringen, dass die Planeten mit gleichförmiger Geschwindigkeit in ihren Bahnen fortschreiten, und durch eine sorgfältige und mühsame Combination des vorhandenen Beobachtungsmaterials gelangte endlich Kepler in Beziehung auf die Geschwindigkeit zu dem Gesetze, welches wir bereits oben S. 118 kennen gelernt haben und welches den Namen des zweiten Kepler'schen Gesetzes führt. Dieses Gesetz gilt für alle anderen Planeten ebenso, wie für die Erde.

Das erste Gesetz, welches Kepler aus den Tychonischen Beobachtungen ableitete, bezieht sich auf die Gestalt der Planetenbahnen. Auch dieses Gesetz ist bereits oben (S. 118) erwähnt worden. Nach dem ersten Kepler'schen Gesetze bewegen sich die Planeten in Ellipsen und die Sonne steht in dem einen Brennpunkte derselben.

Die Entfernung der Sonne von dem Mittelpunkte der Ellipse wird, wie bereits S. 118 erwähnt wurde, die Excentricität genannt.

Die Gestalt der Ellipse ist bestimmt, wenn man ihre halbe grosse Axe (die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne) und ihre Excentricität kennt; um die Lage der Bahn im Raume zu kennen, muss man noch die Neigung der Bahn, die Länge des Periheliums und die Länge des aufsteigenden Knotens kennen. Zum Theil sind diese Elemente für die Erde und die mit blossem Auge sichtbaren Planeten schon in der Tabelle auf S. 147 mitgetheilt worden, die übrigen folgen hier:

	Excentricität	Länge des Periheliums
Mercur	0,206	75° 7,2′
Venus	0,007	129 27,2
Erde	0,017	100 21,4
Mars	0,093	333 17,9
Jupiter	0,048	11 55,0
Saturn	0,056	90 6,6

Die Excentricität ist hier in Theilen der halben grossen Axe ausgedrückt. Man sieht, dass sie für den Mercur und den Mars am bedeutendsten ist.

Bezeichnen wir die halbe grosse Axe der Mercursbahn mit 1, so ist die Excentricität nach obiger Tabelle 0,206, und daraus folgt dann, dass die halbe kleine Axe der Mercursbahn 0,978 ist. Bei der Kleinheit des Maassstabes, in welchem die Tab. VII ausgeführt ist, kann also die Differenz der grossen und kleinen Axe der Mercursbahn ganz unberücksichtigt bleiben; die Mercursbahn ist deshalb gleich den Bahnen der anderen Planeten auf Tab. VII und IX, deren Excentricität noch geringer ist, als vollständiger Kreis gezogen. Jedoch liegt die Sonne, wie man sieht, nicht im Mittelpunkte dieser Kreise, sondern sie steht von demselben so weit ab, wie es nach dem Werthe der Excentricität der obigen Tabelle sein muss.

Nur für die Erd- und Venusbahn ist die Excentricität so gering, dass bei dem Maassstab der beiden Tafeln VII und IX die Sonne mit dem Mittelpunkte der Kreise zusammenfällt.

In Tab. VII und IX ist die Stelle der Sonnennähe jedes einzelnen Planeten durch einen von der Sonne ausgehenden Pfeil bezeichnet.

Das dritte Kepler'sche Gesetz bezieht sich auf das Verhältniss, welches zwischen der Umlaufszeit der Planeten und ihrer mittleren Entfernung von der Sonne besteht. Es heisst:

Die Quadrate der Umlaufszeiten verschiedener Planeten verhalten sich wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Entfernungen von der Sonne.

Bezeichnen wir mit T und R die Umlaufszeit und die mittlere Entfernung eines Planeten von der Sonne, mit t und r die entsprechenden Grössen für einen anderen Planeten, so ist dem dritten Kepler'schen Gesetze zufolge

$$\frac{T^2}{R^3} = \frac{t^2}{r^3},$$

oder in Worten, der Quotient, welchen man erhält, wenn man das Quadrat der Umlaufszeit eines Planeten durch die dritte Potenz seiner mittleren Entfernung von der Sonne dividirt, ist eine constante Grösse.

Drückt man die Umlaufszeit eines Planeten in Tagen aus, während man die mittlere Entfernung der Erde von der Sonne als Längeneinheit nimmt, so ergiebt sich jener Quotient gleich 133407, wovon man sich leicht mit Hülfe der in der Tabelle auf S. 148 mitgetheilten Zahlen überzeugen kann.

Die absolute Entfernung der verschiedenen Planeten von der Sonne kannte Kepler zwar noch nicht; zur Aufstellung des dritten Gesetzes war aber auch die Kenntniss dieser absoluten Entfernung gar nicht nöthig, es genügte zu wissen, wie sich die Abstände der Planeten von der Sonne zum Halbmesser der Erdbahn verhalten, wie denn ja auch in der Tabelle auf S. 147 der Halbmesser der Erdbahn als Längeneinheit genommen ist, mit welcher die Abstände der übrigen Planeten von der Sonne gemessen sind.

Gehen wir jetzt zu der Betrachtung der einzelnen Planeten über.

55 **Mercur.** Mercur steht der Sonne stets so nahe, dass er nie bei voller Nacht, sondern nur in der Morgen- oder Abenddämmerung gesehen werden kann. Der grösste Winkelabstand, bis zu welchem er sich möglicherweise von der Sonne entfernen kann, beträgt 27° 42′. Er kann deshalb nicht leicht beobachtet werden, namentlich in höheren Breiten, wo die Dämmerung länger dauert. Durch das Fernrohr betrachtet, zeigt der Mercur Phasen, welche denjenigen ganz ähnlich sind, die man an der Venus beobachtet und die im nächsten Paragraphen ausführlicher besprochen werden sollen.

Wenn die untere Conjunction des Mercur zu einer Zeit eintritt, wo dieser Planet sich ganz in der Nähe eines der Knotenpunkte seiner Bahn befindet, so sieht man ihn als einen scharfen schwarzen Punkt vor der Sonnenscheibe vorüberziehen. Solche Durchgänge des Mercur, deren durchschnittlich 13 in einem Jahrhundert stattfinden, sind jedoch mit blossem Auge nicht wahrnehmbar; es bedarf dazu eines Fernrohres.

Kepler kündigte zuerst einen solchen Durchgang für das Jahr 1631 an und Gassendi beobachtete denselben zu Paris am 6. November des genannten Jahres. Die nächsten beiden Vorübergänge werden an folgenden Tagen stattfinden:

Am 10. November 1894,
„ 4. November 1901.

Der erste dieser Durchgänge wird in Deutschland theilweise sichtbar sein.

Solche Durchgänge sind sehr geeignet, um den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seiner unteren Conjunction zu messen.

Die kleinste Entfernung des Mercur von der Sonne beträgt ungefähr 46 Millionen, die grösste 70 Millionen, die mittlere 58 Millionen Kilometer.

Die grösste Entfernung, bis zu welcher möglicherweise Mercur sich von der Erde entfernen kann, beträgt 192 Millionen, die kleinstmögliche aber 77 Millionen Kilometer.

Bessel bestimmte am Königsberger Heliometer den scheinbaren Durchmesser des Mercur zur Zeit seines Vorüberganges vor der Sonnenscheibe, also zur Zeit, wo er der Erde am nächsten steht, zu 10,5″, wonach er sich für die mittlere Entfernung von der Erde zu 6,68″, und der wahre Durchmesser zu 4825 km ergiebt. Neuere Bestimmungen haben den Durchmesser nicht wesentlich anders ergeben.

Die Masse des Mercur kann nur aus den geringen Störungen abgeleitet werden, welche dieser Planet auf andere Himmelskörper ausübt, und ist noch nicht mit grosser Sicherheit bestimmt worden. Encke fand sie aus den Störungen des nach ihm benannten Kometen zu $\frac{1}{5\,865\,751}$, Leverrier aus den Störungen der Venus zu $\frac{1}{5\,310\,000}$, derselbe aus den Störungen in der Erdbewegung zu $\frac{1}{4\,360\,000}$, und v. Asten aus den Störungen des Encke'schen Kometen zu $\frac{1}{7\,636\,440}$ der Sonnenmasse. Diese letztere Zahl würde ergeben, dass die Masse des Mercur gleich 0,04 der Erdmasse, und seine mittlere Dichtigkeit gleich 0,8 der mittleren Dichtigkeit der Erde ist.

Die Zeit, innerhalb welcher Mercur um seine Axe rotirt, ist erst in letzter Zeit mit einiger Sicherheit bekannt geworden. Schröter in Lilienthal glaubte zwar schon in den letzten Jahren des vorigen Jahrhunderts auf dem Mercur einen Berg zu bemerken, und beobachtete denselben, um die Umdrehungszeit der Planeten zu ermitteln, die er zu ungefähr 24 Stunden fand. Indessen haben die viel besseren Fernrohre der neueren Zeit nichts Derartiges mit Sicherheit erkennen lassen. Dagegen hat Schiaparelli im Jahre 1889 eine Abhandlung veröffentlicht, in welcher er mit grosser Wahrscheinlichkeit nachwies, dass die Rotationszeit des Mercur um seine Axe mit seiner mittleren Umlaufszeit um die Sonne vollständig übereinstimmt. Schiaparelli beobachtete den Mercur vorwiegend bei Tageslicht, und fand auf seiner Oberfläche eine Anzahl zarter brauner Streifen, die ihre relative Lage nicht veränderten, und durch ihre fortgesetzte Beobachtung gelang es ihm, die Rotationszeit des Planeten zu ermitteln. Es zeigte sich, dass der Mercur der Sonne immer dieselbe Seite zukehrt, sowie der Mond der Erde. In Folge dessen kann auch von der Erde aus immer nur eine Seite des Mercur gesehen werden, weil seine von der Sonne abgekehrte Seite sich immer im Schatten befindet. Da die Rotationszeit des Mercur um seine Axe eine völlig gleichmässige ist, während die Geschwindigkeit seiner Bahnbewegung an den verschiedenen Stellen seiner Bahn verschieden ist, so ist die Grenzlinie zwischen Licht und Schatten nicht in allen Theilen der Bahn dieselbe, und für einige Gegenden in der Nähe dieser Grenzlinie befindet sich die

Sonne zu gewissen Zeiten über, und zu anderen Zeiten unter dem Horizonte. Die Lage der Rotationsaxe des Mercur ist noch nicht genau ermittelt, indessen wird sie wahrscheinlich sehr nahe senkrecht gegen die Bahnebene stehen.

56 **Venus.** Unter allen Planeten kommt keiner der Erde so nahe wie die Venus, welche sich auch durch ihr blendendweisses, intensives Licht vor allen übrigen auszeichnet.

Da die grösste Elongation der Venus 45 bis 48° beträgt, so kann dieser Planet schon drei Stunden vor Sonnenaufgang oder noch drei Stunden nach Sonnenuntergang am Himmel sichtbar sein; er kann also bei voller Nacht beobachtet werden.

Die Phasenerscheinungen, welche die Venus darbietet, sind im Wesentlichen dieselben, wie die bereits beim Mercur erwähnten; weil sie aber bei der Venus viel leichter wahrnehmbar sind, so sollen dieselben hier auch ausführlicher besprochen werden.

Nach der oberen Conjunction entfernt sich die Venus rasch von der Sonne, und zwar nach Osten hin, so dass ihr Untergang nach dem Untergang der Sonne stattfindet, der Planet also in den Abendstunden sichtbar wird, weshalb er zu dieser Zeit den Namen Abendstern führt.

Indem sich Venus östlich von der Sonne entfernt, nimmt ihr Glanz sowohl wie ihr scheinbarer Durchmesser zu. Wenn man sie durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet man eine Abnahme der Lichtgestalt auf der der Sonne abgewendeten Seite, wenn die Venus sich ihrer grössten Elongation nähert; hat sie aber ihre grösste östliche Entfernung von der Sonne erreicht, so erscheint sie nur noch halb erleuchtet, sie erscheint uns wie der Mond im ersten Viertel.

Fig. 2, Tab. 3 dient dazu, sowohl die scheinbare Bewegung der Venus in Beziehung auf die Sonne als auch den Wechsel der Lichtgestalten anschaulich zu machen; sie stellt nämlich die scheinbare Bewegung der Venus um die Sonne im Jahre 1847 dar. Am 1. Januar 1847 stand die Venus ungefähr 4° östlich von der Sonne; am 29. März ging sie, 24° von der Sonne entfernt, durch den aufsteigenden Knoten. Den grössten östlichen Abstand von 45¾ Grad erreichte sie am 21. Juli, nahe um dieselbe Zeit, in welcher sie den niedersteigenden Knoten passirte. Um diese Zeit der grössten Elongation erscheint die Venus halb beleuchtet.

Obgleich die uns zugewendete Seite der Venus zur Zeit ihrer oberen Conjunction von der Sonne voll beleuchtet ist, so erscheint sie uns dann doch nicht am hellsten, weil sie sich in der grössten Entfernung von uns und zugleich in unmittelbarer Nähe der Sonne befindet. Je mehr der Planet sich scheinbar von der Sonne entfernt, ein um so grösserer Theil seiner sichtbaren Oberfläche tritt in den Schatten, die erleuchtete Sichel wird dagegen immer heller, weil der Planet sich fortwährend der Erde nähert, und dabei sein scheinbarer Durchmesser

bedeutend wächst. Die grösste Helligkeit wird erreicht, wenn der Planet ungefähr 40° von der Sonne absteht, und dabei der Erde näher steht als die Sonne. In diesem Falle ist der Glanz der Venus sehr gross, und sie kann unter Umständen am hellen Tage um Mittag gesehen werden; ihre Helligkeit ist dann ungefähr 900mal geringer als die des Vollmondes. Der scheinbare Durchmesser der Venus beträgt dann ungefähr 40 Bogensecunden, die Breite der Lichtsichel 10 Bogensecunden.

Kurz vor der unteren Conjunction erscheint uns die Venus, durch ein Fernrohr gesehen, nur noch als schmale Sichel, worauf sie dann in den Strahlen der Sonne verschwindet, um nach kurzer Zeit auf der Westseite derselben wieder zu erscheinen. Venus geht nun vor der Sonne auf, sie ist Morgenstern.

In seltenen Fällen, wenn die Declination der Venus bedeutend nördlicher ist, als diejenige der Sonne, kann es vorkommen, dass sie Morgens vor der Sonne auf-, und Abends nach der Sonne untergeht, also gleichzeitig Morgen- und Abendstern ist. Ein solcher Fall tritt z. B. gegen Mitte des Februar 1894 ein.

Nach der unteren Conjunction nimmt die Lichtgestalt der Venus allmählich wieder zu, bis sie die grösste westliche Elongation erreicht hat, wo sie wieder die Gestalt eines Halbmondes zeigt.

Zur Zeit der unteren Conjunction hatte die Venus im Jahre 1847 eine über 8° betragende südliche Declination, sie ging also unterhalb der Sonne vorüber; zu anderen Zeiten geht sie in gleicher Weise über der Sonne weg.

Der Lichtglanz der Venus ist so lebhaft, dass die sorgfältigsten Beobachtungen in Beziehung auf die physische Natur ihrer Oberfläche noch zu keinem Resultate führten. Manchmal erscheinen äusserst schwache, kaum wahrnehmbare Flecken, aus deren Bewegung Schröter geschlossen hat, dass die Venus sich in 23 Stunden 21 Minuten um ihre Axe dreht. Schiaparelli hat dagegen gefunden, dass die Rotationszeit der Venus eine viel langsamere sein muss, und dass sie, wenn nicht völlig, so doch jedenfalls genähert mit ihrer Umlaufszeit um die Sonne übereinstimmt, ähnlich wie dies nach Schiaparelli's Untersuchungen auch beim Mercur der Fall ist. Danach würde also auch die Venus der Sonne immer nahezu dieselbe Seite zukehren, indessen ist dies Resultat wegen der grossen Schwierigkeit der Beobachtung bei der Venus nicht völlig so sicher wie bei dem Mercur.

Das blendende Licht der Venussichel verliert sich allmählich gegen die Nachtseite der Venus hin; es findet hier keine scharfe Grenze zwischen Licht und Dunkel statt, wie beim Mond, und daraus hat man geschlossen, dass auf der Venus wie auf der Erde vor dem Aufgange und nach dem Untergange der Sonne eine Dämmerung stattfinde, dass also die Venus von einer Atmosphäre umgeben sei.

Bisweilen kann man den von der Sonne nicht beleuchteten Theil der Oberfläche der Venus in mattem Lichte leuchten sehen, ähnlich wie

dies auch bei dem Monde, namentlich zur Zeit des ersten Viertels, häufig der Fall ist. Durch welchen Umstand bei der Venus dieses Licht hervorgebracht wird, ist noch nicht völlig erklärt.

Unter allen Planetenbahnen hat die Bahn der Venus die geringste Excentricität. Ihre mittlere Entfernung von der Sonne beträgt nahe 108 Millionen, der Unterschied zwischen ihrem grössten und ihrem kleinsten Abstande von der Sonne beträgt nur $1^1/_2$ Millionen Kilometer.

Die Venus kann sich der Erde bis auf 38 Millionen Kilometer nähern und sich bis auf 260 Millionen Kilometer von ihr entfernen.

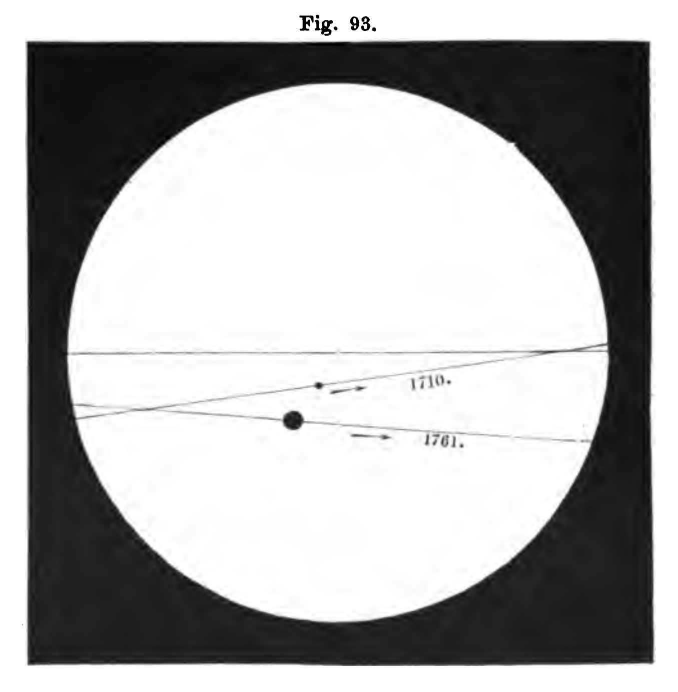
Der scheinbare Durchmesser der Venus beträgt zur Zeit ihrer unteren Conjunction ungefähr 64″.

Der wahre Durchmesser der Venus beträgt 12 700 km; sie ist also fast eben so gross wie die Erde.

Die Masse der Venus ist gleich $\frac{1}{412\,150}$ der Sonnenmasse und 0,79 der Erdmasse, die mittlere Dichtigkeit 0,81 der Dichtigkeit der Erde.

57 **Vorübergänge der Venus.** Wenn die untere Conjunction der Venus und der Sonne zu einer Zeit stattfindet, wo die nördliche oder südliche Breite der Venus Null oder doch sehr gering ist, zur Zeit also,

Fig. 93.



wo die Venus den aufsteigenden oder niedersteigenden Knoten passirt, sieht man die Venus durch Fernröhre als einen völlig schwarzen,

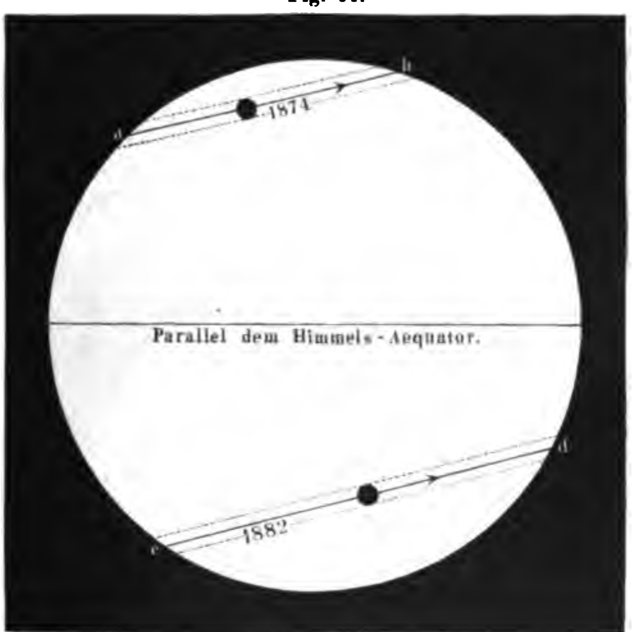
scharf begrenzten runden Fleck von mehr als 1′ Durchmesser vor der Sonnenscheibe vorübergehen. Fig. 93 stellt den Venusdurchgang von 1761 und den Mercursdurchgang von 1710 dar.

Nach dem eben Gesagten kann ein Venusdurchgang nur zu einer Zeit stattfinden, wo sich die Erde ganz in der Nähe von einem der Punkte f oder g, Tab. VI, befindet, in welchen die Knotenlinie AB der Venusbahn die Erdbahn schneidet. In f befindet sich die Erde am 5. Juni, in g aber am 7. December.

Es kann demnach ein Venusdurchgang nur stattfinden, wenn eine untere Conjunction der Venus an einem der Tage vom 2. bis 8. Juni oder vom 4. bis 10. December eintritt.

Der erste Venusdurchgang, welcher beobachtet wurde, fand am 4. December 1639 statt. Danach ereigneten sich zwei Durchgänge am

Fig. 94.



6. Juni 1761 und am 3. Juni 1769, und in dem jetzigen Jahrhundert am 8. December 1874 und 6. December 1882. Die nächsten vier Durchgänge werden stattfinden:

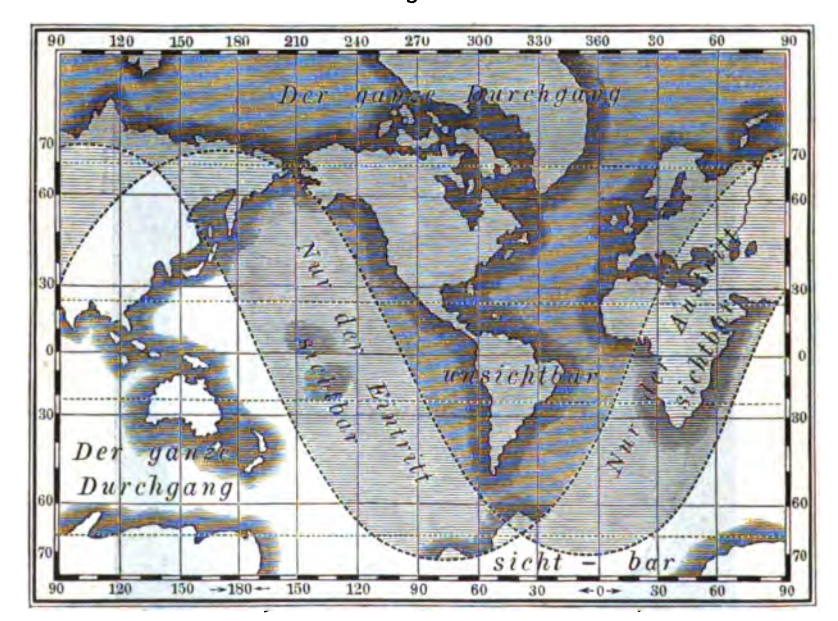
Am	7. Juni	2004,
„	5. Juni	2012,
„	10. December	2117,
„	8. December	2125.

In Fig. 94 stellt ab den Weg dar, welchen am 8. December 1874 der Mittelpunkt der Venus vom Mittelpunkte der Erde aus gesehen auf

der Sonnenscheibe zurückgelegt hat. Die gleiche Bedeutung hat die Linie *cd* für den Venusdurchgang von 1882. Der Venusdurchgang von 1874 war für den grössten Theil von Europa nicht sichtbar, weil er zu einer Zeit stattfand (ungefähr von 2 Uhr Nachts bis 6 Uhr Morgens Berliner Zeit), in welcher die Sonne für diesen Welttheil nicht über dem Horizont stand. Der Durchgang vom 6. December 1882 dagegen fand für Europa in den Nachmittagsstunden (ungefähr von 2 Uhr Nachmittags an) statt.

Der Vorübergang von 1874 war von Anfang bis zu Ende sichtbar in einem Theile von Sibirien (Jakutzk, Irkutzk u. s. w.), ganz China und

Fig. 95.



Der Venusdurchgang vom 8. December 1874.

Japan, Ostindien, Hinterindien und Australien. Der Austritt der Venus wurde noch in einem Theile von Sibirien (Barnaul, Tobolsk u. s. w.), Persien, Kleinasien, dem europäischen Russland (mit Ausnahme der Ostseeprovinzen), der europäischen Türkei und dem Südende von Italien gesehen. In Moskau, Ofen, Neapel u. s. w. fand der Austritt der Venus bald nach Sonnenaufgang statt. Im übrigen Europa wie auch in ganz Amerika war die Erscheinung unsichtbar.

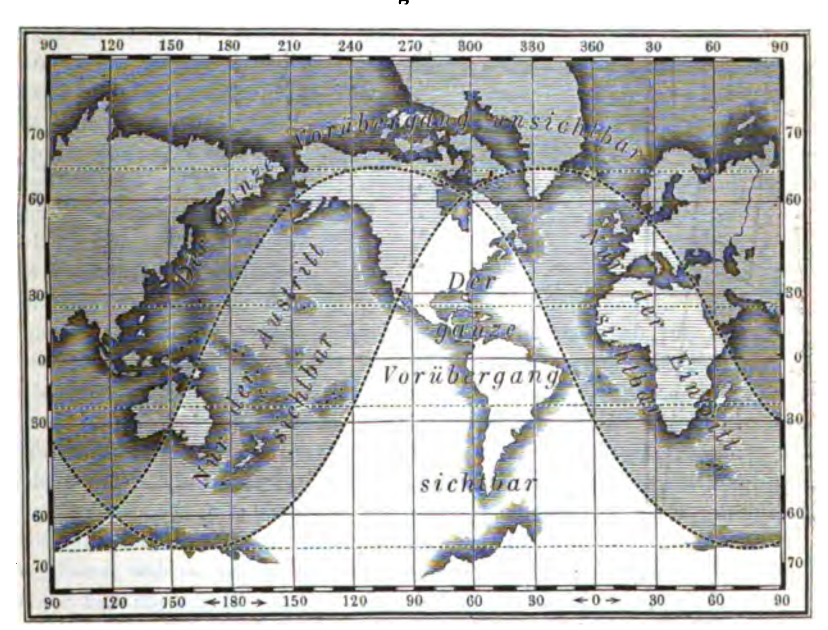
Der Venusdurchgang vom Jahre 1882 war in seinem ganzen Verlaufe in dem östlichen Theile von Nordamerika, sowie ganz Central- und Südamerika sichtbar. Der Eintritt konnte ferner in dem westlichen Theile von Europa, ganz Afrika und dem südlichen Grönland, und der

Austritt in dem westlichen Theile von Nordamerika und der östlichen Hälfte von Australien gesehen werden. Auf den Karten, Fig. 95 und 96, sind die Sichtbarkeitsgrenzen der Venusdurchgänge vom 8. December 1874 und 6. December 1882 angegeben.

Es ist bereits oben S. 121 angeführt worden, dass die Beobachtung der Venusdurchgänge von grosser Wichtigkeit für die Bestimmung der Sonnenparallaxe ist; wir wollen nun sehen, worin das Wesentliche dieser Bestimmungsmethode besteht.

Es sei T (Fig. 97, a. f. S.) die Erde, S die Sonne und zwischen beiden stehe die Venus in v. Von verschiedenen Orten der Erde

Fig. 96.



Der Venusdurchgang vom 6. December 1882.

aus gesehen erscheint natürlich die Venus auf verschiedene Stellen der Sonnenscheibe projicirt, z. B. von a aus gesehen in d, von b aus gesehen in c. ef ist der Weg, welchen die Venus, von b aus gesehen, auf der Sonnenscheibe zurücklegt, gh ist der dem Beobachtungspunkte a entsprechende Weg.

Der Abstand cd der beiden Linien ef und gh verhält sich zu ab, Fig. 97, wie dv zu av oder wie die Entfernung der Venus von der Sonne zu der Entfernung der Venus von der Erde.

Bezeichnet man den mittleren Abstand der Erde von der Sonne mit 1, so ist der mittlere Abstand der Venus von der Sonne 0,723, also

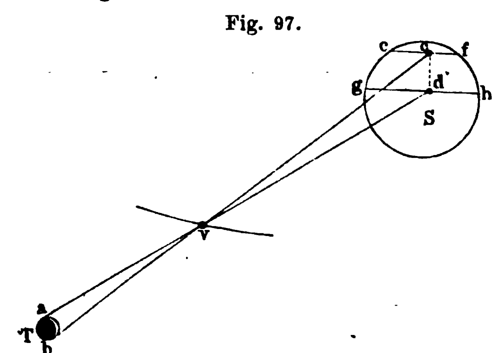
der Abstand der Venus von der Erde zur Zeit der unteren Conjunction 0,277; wir haben also:

$$ab : cd = 0{,}277 : 0{,}723, \text{ und daraus ergiebt sich:}$$
$$cd = 2{,}6\ ab.$$

Der Abstand der beiden Linien *ef* und *gh*, in welchen, von *a* und *b* aus gesehen, die Venus vor der Sonnenscheibe hergeht, erscheint also von der Erde aus gesehen 2,6mal so gross als der Abstand *ab* der beiden Beobachtungspunkte auf der Erde von der Sonne aus gesehen.

Es kommt also nun zunächst darauf an, den Abstand *cd* zu ermitteln. Dieser ergiebt sich aber, wenn man in *a* sowohl wie in *b* die Zeitdauer beobachtet, während welcher die Venus vor der Sonnenscheibe verweilt; aus der Zeit nämlich, welche der Planet braucht, um von *a* aus gesehen die Sehne *gh* und von *b* aus gesehen die Sehne *ef* zu beschreiben, kann man auf die Länge dieser Sehnen, und da der scheinbare Durchmesser der Sonne bekannt ist, auf ihre Lage auf der Sonnenscheibe schliessen, woraus sich alsdann auch der von der Erde aus gesehene Winkelabstand der beiden Sehnen ergiebt.

Fig. 97.



Nun aber ist *ab* 2,6mal kleiner als *cd* und somit ergiebt sich also auch aus diesen Beobachtungen, unter welchem Winkel, von der Sonne aus gesehen, die Sehne *ab* erscheint, woraus sich dann leicht die Horizontalparallaxe der Sonne, d. h. der Winkel ergiebt, unter welchem der Radius der Erde, von der Sonne aus gesehen, erscheint.

Das eben angeführte Verhältniss zwischen *ab* und *cd* ist natürlich nur ein angenähertes; für jeden concreten Fall muss man den jeweiligen genauen Werth der Entfernung der Erde und der Venus von der Sonne in die Rechnung einführen.

Am 3. Juni 1769 wurde der Venusdurchgang an vielen Orten der Erde beobachtet. Besonders günstig zur Berechnung der Sonnenparallaxe waren die Beobachtungsorte Cajanaburg in Finnland (64° 13′ nördl. Br.) und O-Taiti in der Südsee (17° südl. Br.). Am ersteren Orte betrug die Dauer des Durchganges $6^h\ 11^m\ 40^s$, am letzteren $5^h\ 48^m\ 4^s$, woraus sich der schon oben erwähnte Werth für die Horizontalparallaxe der Sonne, nämlich 8,6 Secunden, ergiebt.

Die punktirten Linien über *ab* und *cd* in Fig. 94 bezeichnen den Weg, welchen der Mittelpunkt der Venus am 8. December 1874 und am 6. December 1882 auf der Sonnenscheibe zurückgelegt haben würde, wenn man den Durchgang vom Südpol der Erde aus hätte beobachten können. Die punktirten Linien unter *ab* und *cd* haben die gleiche

Bedeutung für den Fall, dass der Durchgang der Venus auf dem Nordpol der Erde beobachtet worden wäre.

Die Berechnung der Sonnenparallaxe nach obiger Methode wird dadurch etwas verwickelter, dass die Durchgangszeiten durch die Ortsveränderung modificirt werden, welche die Beobachtungsorte in Folge der Axendrehung und der fortschreitenden Bewegung der Erde erleiden. Hier, wo es sich nur darum handelt, die Grundidee der Methode verständlich zu machen, können wir aber nicht näher auf diese Details eingehen.

Wegen der grossen Wichtigkeit, welche die Beobachtung der Venusdurchgänge für die Bestimmung der Sonnenentfernung hat, wurden umfassende Vorbereitungen für die Beobachtung der in den Jahren 1874 und 1882 stattgehabten Vorübergänge getroffen. Von Deutschland aus wurden im Jahre 1874 sechs Expeditionen ausgesandt: 1) nach Tschifu in China, 2) nach den Kerguelen-Inseln, 3) nach den Auckland-Inseln, 4) nach Mauritius, 5) nach Ispahan und 6) nach Theben in Aegypten; und im Jahre 1882 vier Expeditionen: 1) nach Hartford in Connecticut, 2) nach Aicken in Süd-Carolina, 3) nach Bahia Blanca in Argentinien und 4) nach Punta Arenas an der Maghellan-Strasse. Ausserdem wurde der Durchgang des Jahres 1882 von Seiten der nach Süd-Georgien vom Deutschen Reiche entsandten Polarexpedition beobachtet.

Während im vorigen Jahrhundert die Beobachter sich darauf beschränken mussten, die Momente der Ränderberührungen der Venus und Sonne zu notiren, weil es in damaliger Zeit an Apparaten zu feinen mikrometrischen Messungen fehlte, sind bei den letzten Venusdurchgängen während ihres ganzen Verlaufes Messungen der Stellung der Venus auf der Sonnenscheibe ausgeführt worden. Hierzu hat man sich hauptsächlich der schon früher (S. 105) besprochenen Heliometer bedient. Ausserdem sind aber namentlich im Jahre 1874 zahlreiche Photographien der Sonnenscheibe während des Vorüberganges der Venus aufgenommen, auf denen man nachträglich die relative Stellung des Venus- und Sonnenmittelpunktes ausmessen konnte. Da diese Methode sich weniger bewährte als die directe Messung vermittelst des Heliometers, so ist sie im Jahre 1882 mehr in den Hintergrund getreten.

Die nächsten Erscheinungen der Venus. Wie bereits in §. 46 bemerkt wurde, kommt Venus am 6. December 1893 in ihre grösste östliche Elongation, so dass sie dann als Abendstern sichtbar ist. Nun nähert sie sich der Sonne wieder und zwar anfangs langsam, dann aber, nachdem sie am 9. Januar 1894 ihren grössten Glanz erreicht hat, sehr rasch, so dass sie schon am 16. Februar mit der Sonne in untere Conjunction kommt. Nachdem Venus, wie schon oben S. 157 erwähnt, in dieser Zeit für einige Tage sowohl Morgen- als auch Abendstern gewesen, erscheint sie bald als Morgenstern, erreicht als solcher ihren grössten Glanz am 25. März und ihre grösste westliche Ausweichung von 46° 10′ am 27. April. 58

Am 30. November 1894 kommt Venus in obere Conjunction mit der Sonne; sie wird dann bald als Abendstern sichtbar, erreicht am 11. Juli 1895 ihre grösste östliche Elongation von 45° 31′ und am 14. August ihren grössten Glanz. Darauf findet die untere Conjunction mit der Sonne am 19. September, der grösste Glanz am 26. October, die grösste westliche Ausweichung (von 46° 45′) am 29. November und die obere Conjunction mit der Sonne am 9. Juli 1896 statt.

59 **Mars.** Die Bahn dieses Planeten ist sehr excentrisch; seine grösste Entfernung von der Sonne ist 1,67, seine kleinste aber 1,38mal so gross als der mittlere Abstand der Erde von der Sonne. Der mittlere Abstand des Mars von der Sonne beträgt 227 Millionen Kilometer. Der Erde kann sich dieser Planet bis auf 54 Millionen Kilometer nähern und sich bis auf 400 Millionen Kilometer von ihr entfernen.

Als oberer Planet kann der Mars nie zwischen Erde und Sonne zu stehen kommen, also nie einen vollständigen Phasenwechsel zeigen wie Venus und Mercur. Zur Zeit der Conjunction und der Opposition erscheint er als volle kreisförmige Scheibe, die aber bis zur Quadratur auf der von der Sonne abgewendeten Seite abnimmt, so dass um diese Zeit die Marsscheibe ungefähr so erscheint, wie der Mond vier Tage vor oder nach dem Vollmonde.

Mit blossem Auge gesehen zeigt Mars ein entschieden rothes Licht. Mit dem Fernrohre betrachtet zeigt er Flecken, aus deren Bewegung man gefolgert hat, dass dieser Planet seine Axendrehung in 24 Stunden 37 Minuten vollendet. Eine geringe Abplattung ist wahrscheinlich, ihr Betrag hat sich aber noch nicht mit Sicherheit ermitteln lassen.

An den Polen des Mars zeigen sich zwei sehr deutliche weisse Flecken, wie man auf Tab. XI sieht, welche den Anblick des Mars durch stark vergrössernde Fernrohre zeigt. Diese Flecken nehmen abwechselnd an Grösse ab und zu. Es ist wahrscheinlich, dass dieselben von grossen Schnee- und Eismassen herrühren, welche sich während des Winters an den Polen anhäufen und dann während des Sommers wieder abnehmen. Aus der Beobachtung dieser Flecken hat man geschlossen, dass der Aequator des Mars einen Winkel von 28° 42′ mit seiner Bahn macht; es findet also auf diesem Planeten ein Wechsel der Jahreszeiten in ähnlicher Weise statt wie auf der Erde, nur mit dem Unterschiede, dass die Jahreszeiten beinahe die doppelte Länge haben wie auf der Erde, da der Umlauf des Mars um die Sonne in 687 Tagen geschieht, während die Erde ihren Umlauf in 365¹/₄ Tagen vollführt. Wegen der starken Excentricität der Marsbahn ist die Entfernung des Planeten von der Erde auch zu den Zeiten der Oppositionen nicht immer die nämliche, sondern kann zwischen 54 Millionen und 100 Millionen Kilometer wechseln. Am nächsten ist er uns, wenn die Opposition gegen Ende des August stattfindet, während die für die Beobachtung seiner physischen Beschaffenheit ungünstigsten Oppositionen gegen Ende des Februar fallen.

Im ersteren Falle beträgt der scheinbare Durchmesser 25,3″, im zweiten Falle nur 13,9″, während der Durchmesser zur Zeit der Conjunction auf $3^1/_2$″ herabsinkt. Wäre die Umlaufszeit des Mars gerade doppelt so gross wie die der Erde, so würden die Oppositionen immer auf dieselben Jahrestage fallen; da aber der Mars etwas weniger als zwei Jahre zu einem Umlauf gebraucht, so beträgt die Zwischenzeit zwischen zwei auf einander folgenden Oppositionen etwas mehr als zwei Jahre, und zwar im Mittel ungefähr zwei Jahre und 50 Tage. Die nächsten Oppositionen finden am 20. October 1894 und am 18. December 1896 statt.

Ausser den bereits erwähnten weissen Polarflecken, deren Mitte übrigens nicht immer genau mit den Polen der Umdrehungsaxe des Planeten zusammenfällt, zeigen sich auf der Oberfläche noch verschiedene dunkel gefärbte Partien, während der grössere Theil der Oberfläche eine orangerothe Färbung zeigt. Einzelne dieser Flecken sind veränderlich, und mögen von wolkenartigen Gebilden herrühren, die grössere Zahl dagegen ist fest mit dem Planeten verbunden. Während der letzten Oppositionen haben sehr sorgfältige Beobachtungen der Astronomen Schiaparelli in Mailand und Perrotin in Nizza ergeben, dass der hellere Theil der Oberfläche von zahlreichen dunkleren Linien durchzogen ist, welche die dunklen Theile der Oberfläche mit einander verbinden, und in ihrer grössten Mehrzahl Bögen grösster Kreise sind. Schiaparelli hat, um die Ideen zu fixiren, und ohne eine bestimmte Vermuthung über die wirkliche Beschaffenheit der Marsoberfläche aufstellen zu wollen, die dunkleren Theile als Meere, die helleren als Festländer, und die dunklen Linien als Canäle bezeichnet. Letztere würden übrigens in ihren Dimensionen von ähnlichen Werken auf der Erdoberfläche bedeutend abweichen, da ihre Breite mindestens 60 km, zum Theil aber weit mehr beträgt. Ihre eigentliche Beschaffenheit ist bis jetzt noch vollständig räthselhaft, zumal da sie höchst sonderbaren, zum Theil rasch vor sich gehenden Veränderungen unterworfen sind. Während bisweilen bei sehr klarer Luft an einem Abende sehr deutlich ein Canal als einfache gerade Linie erscheint, nimmt er am folgenden Abende ein mehr verwaschenes Aussehen an und theilt sich, bisweilen in wenigen Stunden, deutlich in zwei genau parallel laufende Striche, von denen bisweilen einer, bisweilen aber auch gar keiner völlig mit dem früher einfach gesehenen Canal der Lage nach zusammenfällt. Später erscheint der Canal dann wieder einfach wie vorher. Wir müssen gestehen, dass bisher durchaus keine plausiblen Erklärungen über die Ursachen der beschriebenen Phänomene haben aufgestellt werden können, da auf der Erde keine irgendwie analogen Erscheinungen stattfinden.

Aus der Grösse der Polarflecken können wir, unter der Voraussetzung, dass sie wirklich aus Schnee- und Eismassen bestehen, den Schluss ziehen, dass die Temperaturverhältnisse auf dem Mars nicht sehr wesentlich von denjenigen auf der Erde abweichen, trotz der grösseren Entfernung des Planeten von der Sonne, was möglicherweise durch eine

höhere und dichtere Atmosphäre bewirkt wird, welche die Ausstrahlung der durch die Sonne erwärmten Theile der Oberfläche verringert. Die chemische Beschaffenheit der Atmosphäre scheint von derjenigen der Erde nicht wesentlich verschieden zu sein, und zeigt nach Vogel's Untersuchungen in dem rothen Theile des Spectrums ähnliche Absorptionsstreifen.

Der Durchmesser des Mars beträgt 6770 km, während der Aequatorealdurchmesser der Erde beinahe doppelt so gross ist. Seine Masse ist nur 0,1 der Erdmasse, seine Dichtigkeit 0,7 der Dichtigkeit der Erde und die Schwere am Aequator 0,4 der Schwere am Erdäquator.

Bis zum Jahre 1877 war noch kein Satellit des Mars aufgefunden, obgleich vielfach danach gesucht war, und zwar lag die Ursache dieses negativen Resultates, wie sich seitdem gezeigt hat, in der unzureichenden optischen Kraft der benutzten Instrumente. Während der besonders günstigen Opposition des Jahres 1877 fand A. Hall in Washington zwei Monde des Mars, von denen weiter unten die Rede sein wird.

60 **Jupiter.** Die Entfernung des Jupiter von der Sonne variirt zwischen 738 und 813 Millionen Kilometer. Der Erde nähert er sich bis auf 586 Millionen und entfernt sich von ihr bis auf 964 Millionen Kilometer.

Der scheinbare Durchmesser des Jupiter ist 49 Secunden zur Zeit der Opposition, aber nur 30″ zur Zeit der Conjunction.

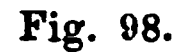
Jupiter ist sehr stark abgeplattet; der Polardurchmesser ist um $^1/_{14}$ kleiner als der Aequatorealdurchmesser, welcher 141 700 km beträgt, also ungefähr 11mal grösser ist, als der Durchmesser der Erde.

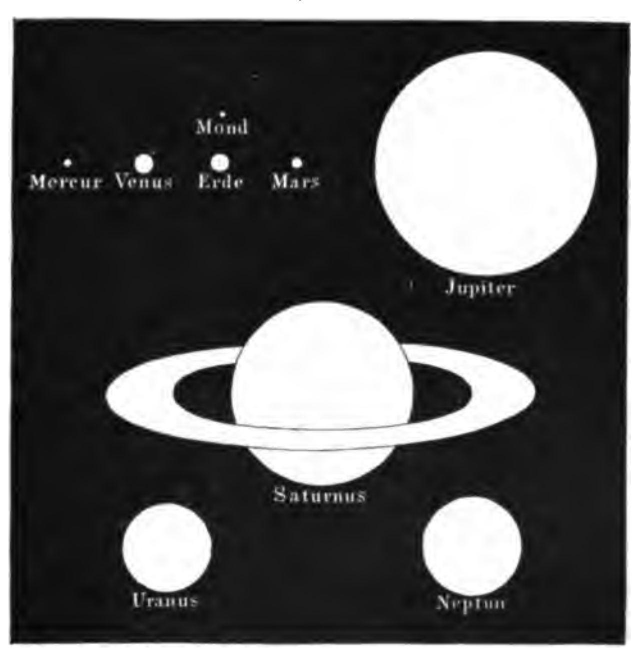
Jupiter ist unter allen Planeten der grösste; sein Grössenverhältniss zur Sonne ist bereits durch Fig. 77 auf Seite 125 anschaulich gemacht worden; in gleicher Weise dient Fig. 98 dazu, das Grössenverhältniss des Jupiter zu den übrigen Planeten zu versinnlichen. Man sieht aus dieser Figur, dass der Grösse nach auf den Jupiter der Saturn und auf diesen Neptun und Uranus folgen. Venus und Erde sind nahe gleich gross, Mars ist weit kleiner, Mercur kaum grösser als unser Mond.

Die Masse des Jupiter ist $\frac{1}{1050}$ der Sonnenmasse, und 309mal so gross wie die Masse der Erde. Die Schwere am Aequator ist bei ihm $2^1/_4$mal so gross wie auf der Erde; seine Dichtigkeit ist nur 0,24 der mittleren Dichtigkeit der Erde, übersteigt demnach nur wenig die Dichtigkeit des Wassers (0,18).

Mit guten Fernrohren beobachtet man auf der Jupiterscheibe parallele dunkle Streifen, deren Gestalt und Lage ziemlich veränderlich ist. Gewöhnlich sind zwei solcher Streifen gegen die Mitte der Scheibe hin besonders deutlich. Ausserdem beobachtet man oft noch Flecken, welche nach einiger Zeit wieder verschwinden. Tab. XIII zeigt das Ansehen des Jupiter, wie derselbe von Warren de la Rue am 2. Januar 1835 beobachtet wurde.

Aus der Beobachtung der Flecken ergiebt sich, dass sich Jupiter mit grosser Geschwindigkeit um seine Axe dreht, und zwar vollendet er seine Axendrehung in 9 Stunden 56 Minuten. Die oben besprochenen Streifen sind dem Aequator des Jupiter parallel, welcher nur einen Winkel von 3° mit der Ebene der Jupitersbahn macht, woraus sich ergiebt,


Fig. 98.



dass der Wechsel der Jahreszeiten auf diesem Planeten kaum merklich sein kann.

Die bedeutende Abplattung des Jupiter ist eine Folge seiner raschen Axendrehung.

Jupiter wird von fünf Trabanten umkreist, deren nähere Betrachtung weiter unten folgt.

Die nächsten Sichtbarkeitsperioden des Jupiter. Jupi- 61
ter (wie alle oberen Planeten) ist in den Abendstunden in der Zeit zwischen der Quadratur vor und der Quadratur nach der Opposition sichtbar.

Am 23. August 1893 kommt ♃ □ ☉; er geht um diese Zeit ungefähr um 10 Uhr Abends auf und culminirt um 6 Uhr Morgens. Am 20. September wird er stationär, kommt am 18. November mit der Sonne in Opposition und geht ungefähr um 4^h Nachmittags auf. Am 15. Januar 1894 wird Jupiter wieder stationär, kommt dann am 11. Februar in

Quadratur mit der Sonne, so dass er etwa sechs Stunden nach der Sonne culminirt; er ist also einige Stunden am Abendhimmel sichtbar.

Nachdem Jupiter Mitte Januar 1894 wieder rechtläufig geworden ist, verschwindet er im Laufe des April in den Strahlen der Sonne, um dann ein grosses Stück seiner Bahn unsichtbar zu durchlaufen und bis zum Juli unsichtbar zu bleiben. Am 4. Juni kommt ♃ ☌ ☉. Ferner kommt

♃ [1] ☉ am 28. September 1894,
♃ wird stationär und rückläufig am 24. October 1894,
♃ ☍ ☉ am 23. December 1894,
♃ wird stationär und dann rechtläufig am 20. Februar 1895,
♃ [2] ☉ am 18. März 1895,
♃ ☉ am 10. Juli 1895,
♃ [1] ☉ am 31. October 1895,
♃ stationär am 26. November 1895,
♃ ☍ ☉ am 24. Januar 1896,
♃ stationär am 25. März 1896,
♃ [2] ☉ am 19. April 1896,
♃ ☌ ☉ am 12. August 1896,
♃ [1] ☉ am 30. November 1896,
♃ stationär am 26. December 1896.

62 **Saturn.** Der grösste Abstand dieses Planeten von der Sonne beträgt 1500, sein kleinster 1344 Millionen Kilometer. Seine Entfernung von der Erde wechselt zwischen 1192 und 1655 Millionen Kilometer.

Der scheinbare Durchmesser der Saturnskugel variirt zwischen 20″ (Opposition) und 15″ (Conjunction), der wahre Durchmesser des Saturn aber beträgt 119 300 km. Er ist also ungefähr 9mal so gross als der Durchmesser der Erde.

Die siderische Umlaufszeit des Saturn beträgt 29 Jahre 166 Tage 23,66 Stunden.

Seine Abplattung beträgt ungefähr $^1/_9$ des Aequatorealdurchmessers.

Saturn zeigt ähnliche Streifen wie der Jupiter, nur sind sie nicht so deutlich. Aus der Beobachtung einzelner Flecken hat man geschlossen, dass die Umdrehung um die Axe in $10^h\ 16^m$ vollendet wird. Die Ebene des Saturnsäquators macht einen Winkel von $28^0\ 40'$ mit seiner Bahn. Die Masse des Saturn ist $\frac{1}{3530}$ der Sonnenmasse, und 92mal so gross wie die Erdmasse. Seine mittlere Dichtigkeit ist ausserordentlich gering, und beträgt nur 0,13 der mittleren Dichtigkeit der Erde, erreicht also noch nicht diejenige des Wassers. Wegen dieser geringen Dichtigkeit und des grossen Volumens ist die Schwere am Aequator nur 0,89 der Schwere am Aequator der Erde.

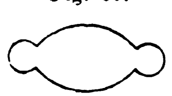
Vor allen anderen Planeten ist Saturn durch einen Ring ausgezeichnet, welcher in der Ebene des Saturnsäquators freischwebend den Planeten umgiebt. Tab. XIV stellt den Saturn mit seinem Ringe dar, wie ihn

sehr gute und stark vergrössernde Fernrohre zeigen. Dieser Ring ist ziemlich breit und dabei sehr dünn.

Die grosse Axe des Saturnsringes erscheint uns zur Zeit der Opposition ungefähr unter einem Winkel von 47 Secunden.

Mit blossem Auge ist diese merkwürdige Erscheinung nicht wahrnehmbar, und die ersten Astronomen, welche den Saturn durch Fernrohre beobachteten, konnten über das wahre Wesen derselben noch nicht ins Reine kommen. Fig. 99 stellt die Abbildung dar, welche Galiläi vom Saturn gab und der ihn tergeminum oder tricorporeum nannte. Hevel stellte den Saturn als gleichsam mit zwei Henkeln versehen dar; erst Huyghens kam auf die richtige Vorstellung.

Fig. 99.



Der Anblick, welchen uns der Saturnsring darbietet, ist keineswegs stets derselbe; denn die Umdrehungsaxe des Saturn behält im Weltraume stets dieselbe Richtung, wie dies ja auch bei der Erdaxe der Fall ist, folglich wird die Ebene des Saturnsringes parallel mit sich selbst verschoben, wie dies Fig. 100 dargestellt ist.

Fig. 100.



Wenn die heliocentrische Länge des Saturn ungefähr 344° ist, wenn er also ungefähr in der Mitte des Zeichens der Fische sich befindet (bei *g*, Fig. 100), so liegt die Sonne in der verlängerten Ringebene: von der Sonne aus gesehen wird also der Ring des Saturn zur Linie verkürzt erscheinen. Bewegt sich nun der Planet in der Richtung des Pfeiles weiter, so wird man alsbald von der Sonne aus auf die Nordseite des Ringes sehen können; er erscheint zunächst als eine flache Ellipse, deren kleine Axe mehr und mehr wächst, bis sie endlich ihr Maximum erreicht, wenn Saturn ungefähr in der Mitte des Zeichens der Zwillinge, also bei *a*, Fig. 100, steht.

Der Ring verschwindet wieder, wenn Saturn im Zeichen der Jungfrau steht; er erscheint wieder in seiner grössten Breite, wenn der Planet in der Mitte des Zeichens des Schützen angelangt ist.

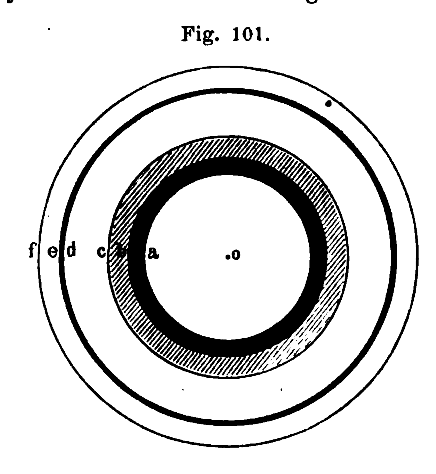
Die Erde steht der Sonne im Verhältniss zum Halbmesser der Saturnsbahn so nahe, dass von ihr aus der Saturnsring fast ebenso gesehen wird, wie er von der Sonne aus gesehen erscheint.

Da die siderische Umlaufszeit des Saturn fast 30 Jahre beträgt, so wird einem vollständigen Cyclus der Ringgestalten ein Zeitraum von 30 Jahren entsprechen.

Fig. 1 und Fig. 2 auf Tab. 7 stellen die wesentlichsten Veränderungen der Ringgestalt während eines Umlaufs des Saturn dar, und zwar mit Angabe der Jahre, in welchen er diese Gestalten im astronomischen (umkehrenden) Fernrohre zeigte oder zeigen wird. Im Jahre 1870 erschien der Ring so ziemlich in seiner grössten Breite; im Jahre 1877 erschien er uns zur Linie verkürzt und von da an bis 1892, wo der Ring abermals verschwand, sahen wir auf seine südliche Fläche. Von dieser Zeit an wird die nördliche Fläche sichtbar sein.

Eine Rotation des Saturnsringes um eine auf seiner Ebene senkrechte Axe ist zwar durch Beobachtungen bisher nicht sicher nachgewiesen, sie muss aber stattfinden, wie theoretisch nachgewiesen ist, weil sonst nur ein labiles Gleichgewicht des Ringes stattfinden kann, welches durch die geringste äussere Kraft aufgehoben wird. Laplace hat ferner gezeigt, dass der Ring, wenn er aus einem festen Stoffe besteht, keine völlig symmetrische Figur und homogene Masse haben kann, weil sonst ebenfalls nur ein labiles Gleichgewicht stattfindet, er führte aber seine Untersuchungen nicht so weit aus, um nachzuweisen, ob bei unsymmetrischer und unhomogener Masse ein stabiles Gleichgewicht vorhanden sei. In neuerer Zeit ist man mehr zu der Ansicht gekommen, dass der Ring aus einer grossen Anzahl äusserst kleiner Körper (Satelliten) besteht, welche selbstständige Bahnen um den Planeten beschreiben, so dass also die Rotationsgeschwindigkeit der einzelnen Theile des Ringes, je nach ihrer grösseren und geringeren Entfernung vom Planeten, eine sehr verschiedene sein muss.

Fig. 101.



Schon Cassini fand, dass der Ring durch eine dunkle Linie getheilt ist, so dass er also wahrscheinlich aus zwei getrennten concentrischen Ringen besteht. Später hat man noch mehr Theilungen bemerkt, zu Zeiten sind sie aber wieder verschwunden, dagegen befindet sich zwischen dem Planeten und dem hellen Theile des Ringes ein mehr dunkler, anscheinend halb durchsichtiger Theil.

Die Masse des Ringes ist sehr gering, wie sich aus seiner Anziehung auf die Satelliten des Saturn nachweisen lässt. Unter der Voraussetzung einer gleichen Dichtigkeit mit Saturn fand Bessel, dass die Dicke des

Ringes nur etwa 200 km betragen kann. — Die Dimensionen des Ringes fand Struve folgendermaassen (s. Fig. 101):

			Kilometer
Aeusserer Halbmesser des äusseren Ringes . . .	*of*	20,06″	138 200
Innerer „ „ „ „ . . .	*oe*	17,76	122 400
Aeusserer „ „ mittleren „ . . .	*od*	17,26	118 900
Innerer „ „ „ „ . . .	*oc*	12,64	87 100
„ „ „ inneren (dunkl.) Ringes	*ob*	10,61	73 110
Aequatorealhalbmesser des Planeten	*oa*	9,00	62 020

Die obigen Winkelwerthe beziehen sich auf die mittlere Entfernung des Saturn von der Erde = 9,539 Erdbahnhalbmesser.

Bis jetzt hat man acht Saturnstrabanten entdeckt.

Die nächsten Oppositionsperioden des Saturn. Die 63
scheinbaren Bahnen des Saturn haben grosse Aehnlichkeit mit denen des Jupiter, nur sind die Schleifen und der Abstand zweier auf einander folgenden Schleifen kleiner als beim Jupiter. Der in rückläufiger Richtung zurückgelegte Weg beträgt ungefähr 7° und der Abstand von einem Wendepunkte bis zum gleichnamigen Wendepunkte des nächsten Jahres beträgt gegen 13°.

Für die nächsten Erscheinungen des Saturn haben wir folgende Data:

♄ ☍ ☉ am 11. April 1894,
♄ wird stationär und rechtläufig am 20. Juni,
♄ [2] ☉ am 11. Juli,
♄ ☌ ☉ am 21. October,
♄ [1] ☉ am 21. Januar 1895,
♄ stationär am 15. Februar (R. A. $14^h\,23^m$, Decl. 11° 31′ s),
♄ ☍ ☉ am 24. April,
♄ stationär am 5. Juli (R. A. $13^h\,57^m$, Decl. 9° 19′ s),
♄ [2] ☉ am 24. Juli,
♄ ☌ ☉ am 2. November,
♄ [1] ☉ am 14. Februar 1896,
♄ stationär am 27. Februar (R. A. $15^h\,9^m$, Decl. 15° 11′ s),
♄ ☍ ☉ am 5. Mai,
♄ stationär am 16. Juli (R. A. $14^h\,43^m$, Decl. 13° 21′ s),
♄ [2] ☉ am 4. August,
♄ ☌ ☉ am 13. November.

Uranus. Wir haben bis jetzt nur diejenigen Planeten betrachtet, 64
welche mit blossem Auge sichtbar sind. Selbst nachdem die Fernrohre erfunden waren, dauerte es noch geraume Zeit, bis sie zur Entdeckung neuer Planeten führten.

Am 13. März 1781 beobachtete Herschel im Bilde der Zwillinge einen Stern, der sich durch einen merklichen Durchmesser auszeichnete und schon am nächsten Abend eine kleine Ortsveränderung zeigte. Es stellte

sich durch fortgesetzte Beobachtung dieses Sternes alsbald heraus, dass er ein Planet sei, welcher noch jenseits der Saturnsbahn um die Sonne kreist.

Nach Bode's Vorschlag wurde der neue Planet Uranus (♅) genannt; von den Engländern wurde er lange Zeit mit dem Namen Herschel bezeichnet.

Uranus erscheint höchstens als ein Stern sechster Grösse, und nur durch stärkere Fernrohre erscheint sein Durchmesser gross genug, um ihn von einem Fixsterne zu unterscheiden.

Die siderische Umlaufszeit des Uranus beträgt 84 Jahre 7 Tage 9 Stunden 21,6 Minuten. Seine mittlere Entfernung von der Sonne ist 19,18mal so gross als der Abstand der Erde von der Sonne oder 2864 Millionen Kilometer. Die Excentricität seiner Bahn ist 0,0464.

Die Neigung seiner Bahn ist nur 46,4′; die Länge des aufsteigenden Knotens 73° 14′ 38″; die Länge des Periheliums ist 170° 38′ 49″.

In seiner Erdnähe ist sein scheinbarer Durchmesser 4,3″ und daraus ergiebt sich, dass sein wahrer Durchmesser gleich 50 300 km ist.

Zwei auf einander folgende Oppositionen des Uranus sind am Himmel nur um $4^1/_2$ Grad von einander entfernt.

Die Masse des Uranus ist $\frac{1}{24\,000}$ der Sonnenmasse, und 13,52mal so gross wie die Masse der Erde. Seine Dichtigkeit ist 0,23 der Dichtigkeit der Erde und nahe gleich der Dichtigkeit des Jupiter. Die Schwere auf der Oberfläche des Uranus ist 0,91 der Schwere am Aequator der Erde.

Uranus hat keine merkliche Abplattung, und seine Rotationszeit ist unbekannt, da deutliche Flecken auf seiner Oberfläche bisher noch nicht bemerkt sind. Er hat vier Trabanten, welche später näher betrachtet werden sollen.

65 **Neptun.** Zu den schönsten Triumphen der Wissenschaft gehört die Entdeckung des Neptun (♆), welcher noch jenseits des Uranus um die Sonne kreist. Die Entdeckungsgeschichte dieses Planeten können wir erst später besprechen, wenn von der gegenseitigen Massenanziehung der Planeten die Rede sein wird. Die halbe grosse Axe seiner Bahn ist ungefähr 30,05 Erdweiten und seine Umlaufszeit 164,8 Jahre. Die Neigung der Bahn beträgt 46′ 21″, die Länge des aufsteigenden Knotens 130° 7′ 32″, die Länge des Periheliums 43° 17′ 30″.

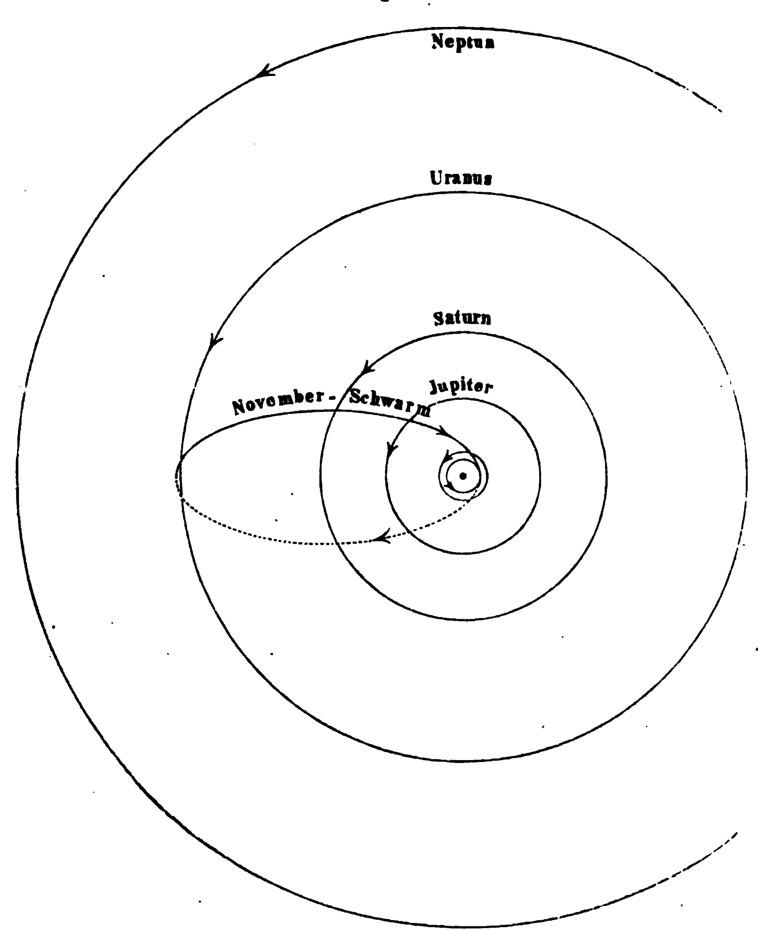
Neptun erscheint ungefähr wie ein Stern achter Grösse; in jedem Jahre rückt er am Himmel nicht ganz um 2° voran. Sein scheinbarer Durchmesser ist ungefähr 2,5″; demnach wäre sein wahrer Durchmesser ungefähr 62 000 Kilometer, während sein Abstand von der Sonne 4487 Millionen Kilometer beträgt. Seine Masse ist $\frac{1}{14\,400}$ der Sonnenmasse und 22,53mal so gross wie die Erdmasse. Die Dichtigkeit ist 0,25 der mittleren Dichtigkeit der Erde, also ähnlich wie die Dichtigkeit des Ju-

piter und Uranus. Die Rotationszeit ist unbekannt, und eine Abplattung hat bisher nicht bemerkt werden können.

Auch ein Trabant des Neptun ist bereits aufgefunden worden.

Fig. 102 stellt die Bahnen der oberen Planeten in ihrem richtigen Grössenverhältniss dar. Der innerste kleine Kreis stellt die Erdbahn, der darauf folgende aber die Marsbahn dar. Von der in Fig. 102 gezeichneten elliptischen Bahn, deren Perihel die Erdbahn und deren Aphel fast die Uranusbahn tangirt, wird später die Rede sein.

Fig. 102.



Die kleinen Planeten oder Asteroiden. Wenn man die Abstände der älteren Planeten von der Sonne aufmerksam betrachtet, so findet man zwischen Mars und Jupiter eine bedeutende Lücke, die schon 66

Kepler auffiel. Setzt man nämlich die Entfernung der Erde von der Sonne gleich zehn, so finden sich die Entfernungen der älteren Planeten folgendermaassen:

Mercur	Venus	Erde	Mars	Jupiter	Saturn
3,9	7,2	10,0	15,2	52,0	95,4

Der Wittenberger Professor Titius suchte im Jahre 1766 diese Zahlen durch folgendes Verfahren darzustellen. Die Grundzahl jeder Entfernung ist 4, so hat man für

Mercur	Entfernung	$= 4 + 0 \times 3 = 4$
Venus	"	$= 4 + 1 \times 3 = 7$
Erde	"	$= 4 + 2 \times 3 = 10$
Mars	" . . .	$= 4 + 4 \times 3 = 16$
Jupiter	"	$= 4 + 16 \times 3 = 52$
Saturn	"	$= 4 + 32 \times 3 = 100$

Die gefundenen Zahlen stimmen ziemlich gut mit den oben angegebenen überein, und da auch Uranus sich der Titius'schen Regel beiläufig fügte, indem seine Entfernung sich zu 191,9 ergab, während sie sich nach dem obigen Verfahren zu $4 + 64 \times 3 = 196$ findet, so wurde namentlich von Bode in Berlin angenommen, dass noch zwischen Mars und Jupiter ein Planet mit der Entferung $4 + 8 \times 3 = 28$ vorhanden sein müsse. In der That fand am 1. Januar 1801, dem ersten Tage des neunzehnten Jahrhunderts, Piazzi in Palermo einen bisher unbekannten Planeten, dessen Entfernung sich zu 28 ergab. Aber schon im folgenden Jahre (am 28. März 1802) fand Olbers noch einen zweiten kleinen Planeten zwischen Mars und Jupiter, und jetzt sind bereits über 300 bekannt, deren mittlere Entfernungen von der Sonne zwischen den Grenzen 21 und 43 liegen.

Dass die oben erwähnte, sogenannte Titius'sche oder Bode'sche Reihe übrigens keinem Naturgesetze entspricht, ergab sich bei der Entdeckung des Neptun, dessen Distanz keineswegs damit übereinstimmt, sondern sich gleich 300,6 fand, während sie sich nach dem obigen Verfahren zu 388 ergeben würde. Auch ist es klar, dass die Uebereinstimmung bei Mercur nur eine scheinbare ist, da consequenter Weise für ihn die Formel $4 + \frac{1}{2} \times 3 = 5\frac{1}{2}$ lauten müsste, weil jede der Zahlen 2, 4, 8, 16, 32, 64 durch Verdoppelung der vorhergehenden entstanden ist. Mit Berücksichtigung der kleinen Planeten ergiebt sich, dass die Distanzen der bei weitem meisten Planeten nicht in die Titius'sche Reihe passen, und es ist demnach nur als ein Spiel des Zufalles anzusehen, dass die zuerst entdeckten Planeten damit ungefähr übereinstimmten.

Die bis zum Anfange des Jahres 1893 aufgefundenen kleinen Planeten waren folgende:

1. Ceres.	4. Vesta.	7. Iris.	10. Hygiea.
2. Pallas.	5. Asträa.	8. Flora.	11. Parthenope.
3. Juno.	6. Hebe.	9. Metis.	12. Victoria.

13. Egeria.
14. Irene.
15. Eunomia.
16. Psyche.
17. Thetis.
18. Melpomene.
19. Fortuna.
20. Massalia.
21. Lutetia.
22. Calliope.
23. Thalia.
24. Themis.
25. Phocäa.
26. Proserpina.
27. Euterpe.
28. Bellona.
29. Amphitrite.
30. Urania.
31. Euphrosyne.
32. Pomona.
33. Polyhymnia.
34. Circe.
35. Leucothea.
36. Atalante.
37. Fides.
38. Leda.
39. Lätitia.
40. Harmonia.
41. Daphne.
42. Isis.
43. Ariadne.
44. Nysa.
45. Eugenia.
46. Hestia.
47. Aglaja.
48. Doris.
49. Pales.
50. Virginia.
51. Nemausa.
52. Europa.
53. Calypso.
54. Alexandra.
55. Pandora.
56. Melete.
57. Mnemosyne.
58. Concordia.
59. Olympia (Elpis).
60. Danaë.
61. Echo.
62. Erato.
63. Ausonia.
64. Angelina.
65. Maximiliana (Cybele).
66. Maja.
67. Asia.
68. Leto.
69. Hesperia.
70. Panopea.
71. Niobe.
72. Feronia.
73. Clytia.
74. Galatea.
75. Eurydice.
76. Freia.
77. Frigga.
78. Diana.
79. Eurynome.
80. Sappho.
81. Terpsichore.
82. Alcmene.
83. Beatrix.
84. Clio.
85. Jo.
86. Semele.
87. Sylvia.
88. Thisbe.
89. Julia.
90. Antiope.
91. Aegina.
92. Undina.
93. Minerva.
94. Aurora.
95. Arethusa.
96. Aegle.
97. Clotho.
98. Janthe.
99. Dike.
100. Hekate.
101. Helena.
102. Miriam.
103. Hera.
104. Clymene.
105. Artemis.
106. Dione.
107. Camilla.
108. Hecuba.
109. Felicitas.
110. Lydia.
111. Ate.
112. Iphigenia.
113. Amalthea.
114. Cassandra.
115. Thyra.
116. Sirona.
117. Lomia.
118. Peitho.
119. Althaea.
120. Lachesis.
121. Hermione.
122. Gerda.
123. Brunhild.
124. Alceste.
125. Liberatrix.
126. Velleda.
127. Johanna.
128. Nemesis.
129. Antigone.
130. Electra.
131. Vala.
132. Aethra.
133. Cyrene.
134. Sophrosyne.
135. Hertha.
136. Austria.
137. Meliboea.
138. Tolosa.
139. Juewa.
140. Siwa.
141. Lumen.
142. Polana.
143. Adria.
144. Vibilia.
145. Adeona.
146. Lucina.
147. Protogeneia.
148. Gallia.
149. Medusa.
150. Nuwa.
151. Abundantia.
152. Atala.
153. Hilda.
154. Bertha.
155. Scylla.
156. Xanthippe.
157. Dejanira.
158. Koronis.
159. Aemilia.
160. Una.
161. Athor.
162. Laurentia.
163. Erigone.
164. Eva.
165. Loreley.
166. Rhodope.
167. Urda.
168. Sibylla.
169. Zelia.
170. Maria.
171. Ophelia.
172. Baucis.
173. Ino.
174. Phaedra.
175. Andromache.
176. Idunna.
177. Irma.
178. Belisana.
179. Klytemnestra.
180. Garumna.
181. Eucharis.
182. Elsa.
183. Istria.
184. Dejopeja.
185. Eunike.
186. Celuta.
187. Lamberta.
188. Menippe.
189. Phthia.

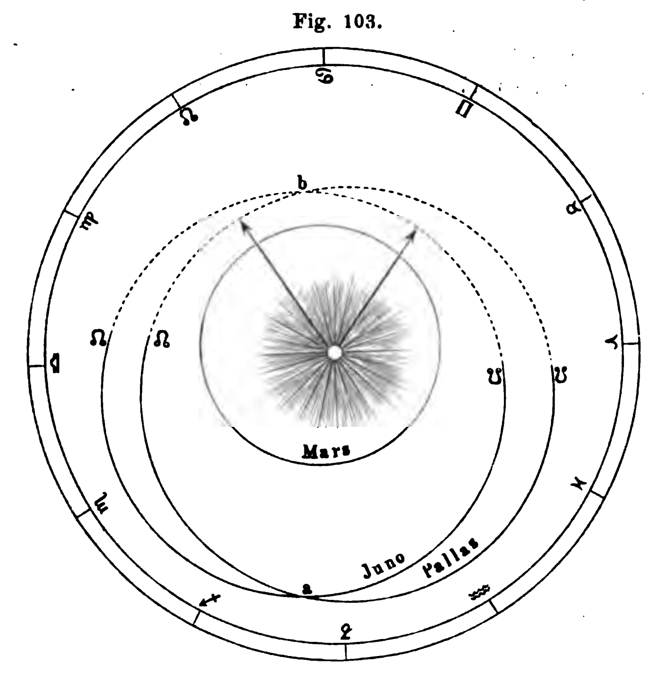
190. Ismene.	231. Vindobona.	272. Antonia.	313. Chaldaea.
191. Kolga.	232. Russia.	273. Atropos.	314. Rosalia.
192. Nausikaa.	233. Asterope.	274. Philagoria.	315. Constantia.
193. Ambrosia.	234. Barbara.	275. Sapientia.	316. Goberta.
194. Prokne.	235. Carolina.	276. Adelheid.	317. Roxane.
195. Eurykleia.	236. Honoria.	277. Elvira.	318.
196. Philomela.	237. Coelestina.	278. Paulina.	319.
197. Arete.	238. Hypatia.	279. Thule.	320. Katharina.
198. Ampella.	239. Adrastea.	280. Philia.	321.
199. Byblis.	240. Vanadis.	281. Lucretia.	322. Phaeo.
200. Dynamene.	241. Germania.	282. Clorinde.	323. Brucia.
201. Penelope.	242. Kriemhild.	283. Emma.	324.
202. Chryseis.	243. Ida.	284. Amelia.	325. Heidelberga.
203. Pompeja.	244. Sita.	285. Regina.	326. Tamara.
204. Kallisto.	245. Vera.	286. Iclea.	327. Columbia.
205. Martha.	246. Asporina.	287. Nephthys.	328. Gudrun.
206. Hersilia.	247. Eukrate.	288. Glauke.	329. Svea.
207. Hedda.	248. Lameia.	289. Nenetta.	330. Ilmatar.
208. Lacrimosa.	249. Ilse.	290. Bruna.	331.
209. Dido.	250. Bettina.	291. Alice.	332.
210. Isabella.	251. Sophia.	292. Ludovica.	333. Badenia.
211. Isolda.	252. Clementina.	293. Brasilia.	334.
212. Medea.	253. Mathilde.	294. Felicia.	335. Roberta.
213. Lilaea.	254. Augusta.	295. Theresia.	336.
214. Aschera.	255. Oppavia.	296. Phaëtasa.	337.
215. Oenone.	256. Walpurga.	297. Caecilia.	338.
216. Kleopatra.	257. Silesia.	298. Baptistina.	339.
217. Eudora.	258. Tyche.	299. Thora.	340.
218. Bianca.	259. Aletheia.	300. Geraldina.	341.
219. Thusnelda.	260. Huberta.	301. Bavaria.	342.
220. Stephania.	261. Prymno.	302. Clarissa.	343.
221. Eos.	262. Valda.	303. Josephina.	344.
222. Lucia.	263. Dresda.	304. Olga.	345.
223. Rosa.	264. Libussa.	305. Gordonia.	346.
224. Oceana.	265. Anna.	306. Unitas.	347.
225. Henrietta.	266. Aline.	307. Nike.	348.
226. Weringia.	267. Tirza.	308. Polyxo.	349. Dembowska.
227. Philosophia.	268. Adorea.	309. Fraternitas.	350.
228. Agathe.	269. Justitia.	310. Margarita.	351.
229. Adelinda.	270. Anahita.	311. Claudia.	352.
230. Athamantis.	271. Penthesilea.	312. Pierretta.	353.

Alle diese Planeten sind teleskopisch mit Ausnahme der Vesta, welche bisweilen dem blossen Auge sichtbar wird. Bei keinem der kleinen Planeten ist es gelungen, den scheinbaren Durchmesser mit Sicherheit zu messen.

Je kleiner nämlich der scheinbare Durchmesser der Gestirne wird, desto störender wirkt die Irradiation auf eine genaue Messung desselben man kann deshalb nicht hoffen, den wahren Durchmesser der Asteroiden durch eine Messung des scheinbaren Durchmessers zu ermitteln. Eine andere, später zu besprechende Methode, den wahren Durchmesser der Asteroiden zu berechnen, ergiebt sich aus einer photometrischen Vergleichung derselben. Nach dieser Methode ergiebt sich für die Vesta ein Durchmesser von 500 und für die kleinsten der bisher entdeckten Asteroiden ein Durchmesser von etwa 5 km.

Unter diesen kleinen Planeten hat (323) Brucia den kleinsten und (279) Thule den grössten mittleren Abstand von der Sonne; ersterer ist

Fig. 103.



2,16, letzterer 4,26, wenn man den mittleren Abstand der Erde von der Sonne gleich 1 setzt.

Die Bahnen dieser kleinen Planeten sind meistens sehr stark excentrisch; so ist z. B. die Excentricität der Iris 0,227, die der Juno 0,255, die der Pallas 0,242, die der Aethra 0,383. Die geringste Excentricität 0,012 hat die Bahn der Iclea. In Folge der grossen Excentricität einzelner kleiner Planeten, wie z. B. der Aethra, können sie in ihrer Sonnennähe bis innerhalb der Marsbahn gelangen, andere können sich der Bahn des Jupiter bis auf verhältnissmässig geringe Entfernungen nähern.

Die Neigung der Bahn gegen die Ekliptik ist bei den kleinen Planeten häufig sehr beträchtlich; sie ist z. B.

für Flora	5° 53′		für Juno	13° 2′	
„ Ceres	10 37		„ Pallas	34 44.	

Deshalb entfernen sich auch die scheinbaren Bahnen der Planetoiden oft sehr weit von der Ekliptik; so durchlief z. B. Pallas im Jahre 1852 vom 27. Grade südlicher Declination an die Sternbilder Eridanus, Orion, kleiner Hund, Wasserschlange, Sextant und Jungfrau.

Aus den angegebenen Verhältnissen ersieht man schon, dass die Bahnen des kleinen Planeten sich nicht einander einschliessen können, wie z. B. die Bahn der Venus die des Mercur, und die Bahn der Erde wieder die der Venus einschliesst, sondern es finden mannigfache Verschlingungen dieser Bahnen statt, wie man aus Fig. 103 (a. v. S.) sieht, welche die Bahnen der Juno und der Pallas darstellt. Bei *a* läuft die Bahn der Pallas nördlich über, bei *b* läuft sie südlich unter der Bahn der Juno her, so dass sich die beiden Bahnen förmlich durchschlingen.

Fünftes Capitel.

Die Satelliten.

Die Trabanten. Mit dem Namen der Trabanten oder der 67
Satelliten bezeichnet man solche Himmelskörper, welche die Planeten nach denselben Gesetzen umkreisen, wie die Planeten selbst die Sonne, Himmelskörper also, welche die Planeten auf ihren Bahnen begleiten. Vor der Entdeckung der Fernrohre war nur ein einziger derartiger Satellit bekannt, nämlich der Mond, dessen Centralkörper die Erde ist. Zu den ersten Entdeckungen aber, welche Galilei mit dem neu erfundenen Fernrohre machte, gehört die, dass der Jupiter von vier Trabanten in ähnlicher Weise umkreist wird, wie die Erde von einem einzigen. Später wurden auch noch Trabanten des Saturn, des Uranus, des Neptun und des Mars entdeckt.

Scheinbare Bahn des Mondes. Nächst der Sonne ist für uns 68
unstreitig der Mond das wichtigste aller Gestirne. Wie die Sonne schreitet er in der Richtung von West nach Ost unter den Sternen des Thierkreises fort, aber weit rascher als die Sonne, indem er von einem Tage zum anderen fast um 13 Grade in der angegebenen Richtung vorrückt.

Fig. 3, Tab. 7 stellt die scheinbare Bahn des Mondes vom 1. bis zum 27. Januar 1855 dar. Man sieht zunächst daraus, dass der Mond stets rechtläufig ist und dass in seiner Bahn keine Schlingen und Schleifen vorkommen, wie wir sie bei den Planetenbahnen beobachten.

Die scheinbare Bahn des Mondes bildet (wenn man vor der Hand von kleinen Abweichungen absieht) einen grössten Kreis an der Himmelskugel, welcher die Ekliptik in zwei Punkten, den Knoten, schneidet. In unserer Figur sehen wir den aufsteigenden Knoten bei *c*, den niedersteigenden bei *d*.

Da die zweite Ungleichheit bei der scheinbaren Mondbewegung ganz fehlt, da letztere uns ebenso einfach erscheint, wie die Bewegung der verschiedenen Planeten von der Sonne aus gesehen, so folgern wir, dass

12*

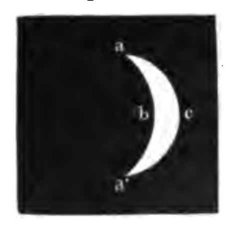
der Mond um die Erde kreist. Die siderische Umlaufszeit des Mondes, d. h. die Zeit, in welcher der Mond einen vollen Umlauf um die Erde vollendet, beträgt 27 Tage 7^h 43^m $11{,}5^s$.

Der Mond kommt mit der Sonne sowohl in Conjunction als auch in Opposition. Diese beiden Stellungen des Mondes zur Sonne werden mit dem gemeinschaftlichen Namen der Syzygien bezeichnet.

Die synodische Revolution oder die synodische Umlaufszeit des Mondes ist die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Conjunctionen des Mondes und der Sonne verstreicht. Sie ist grösser als die siderische Umlaufszeit, denn während der Mond, von einer Conjunction mit der Sonne ausgehend, einen vollen Umlauf von 360^0 zurücklegt, ist die Sonne auch weiter nach Osten fortgerückt, der Mond muss also über die 360^0 hinaus sich noch weiter fortbewegen, um die Sonne wieder einzuholen. Die synodische Revolution des Mondes beträgt 29 Tage 12^h 44^m $2{,}8^s$.

69 **Phasen des Mondes.** Je nach den verschiedenen Stellungen des Mondes zur Sonne bietet er uns verschiedene Anblicke dar, welche man mit dem Namen der Phasen bezeichnet.

Fig. 104.



Der Mond selbst ist dunkel; das Licht, welches er uns zusendet, ist reflectirtes Sonnenlicht; der Anblick des Mondes muss sich also ändern, je nachdem er uns mehr die dunkle oder die erleuchtete Seite zuwendet. Befindet sich der Mond mit der Sonne in Conjunction, so ist er uns vollkommen unsichtbar, wenn er nicht gerade unmittelbar vor der Sonnenscheibe steht. Es ist dann Neumond. Alsbald entfernt sich der Mond nach Osten hin von der Sonne und erscheint uns nun als eine Sichel, Fig. 104, deren

Fig. 105.



Fig. 106.

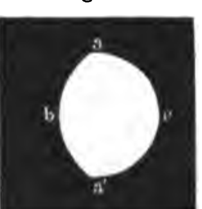
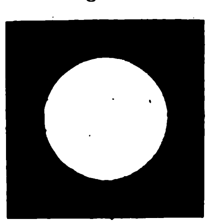


Fig. 107.



Wölbung gegen die Sonne, also gegen Westen gekehrt ist. Anfangs ist die Sichel ganz schmal; sie wird aber allmählich breiter und wenn der Mond in Quadratur ist, so erscheint er uns wie ein leuchtender Halbkreis, Fig. 105. Es findet dann das erste Viertel statt. Der erleuchtete Theil des Mondes wächst nun immer noch, Fig. 106, bis er uns endlich zur Zeit der Opposition als eine volle, kreisförmige, glänzende Scheibe erscheint, Fig. 107. Es ist dies der Vollmond.

Bald nach der Opposition nimmt der Mond auf der Westseite ab, Fig. 108, bis er in der zweiten Quadratur wieder nur halb erscheint, aber jetzt die gewölbte Seite nach Osten kehrend, Fig. 109. Es ist dies

Fig. 108.

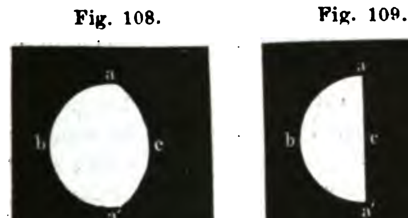
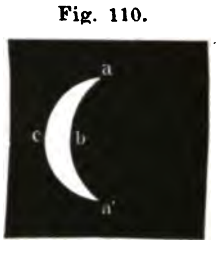


Fig. 109.



Fig. 110.



das letzte Viertel. Nun wird die Sichel, ihre Wölbung immer noch nach Osten kehrend, wieder schmäler und schmäler, Fig. 110, bis sie endlich zur Zeit des Neumondes wieder ganz verschwindet.

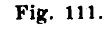
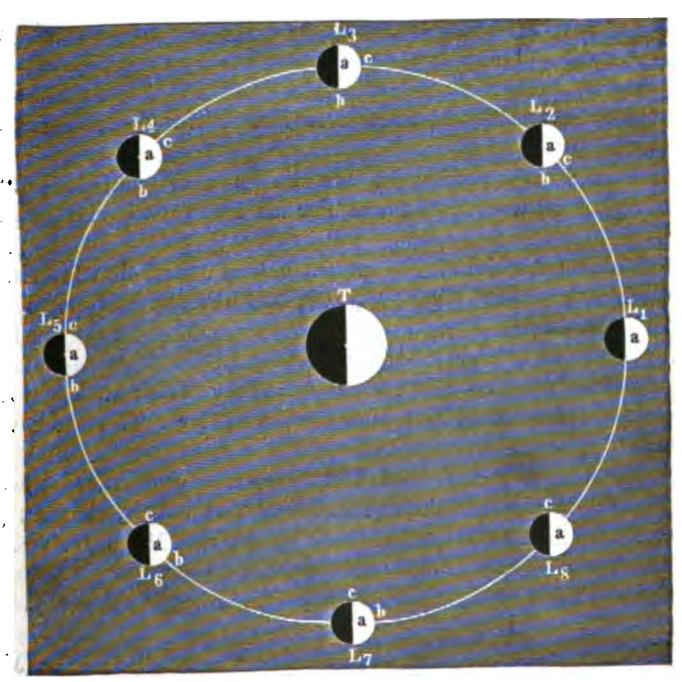


Fig. 111.



Der Zeitraum von einem Neumond bis zum nächsten wird mit dem Namen einer Lunation bezeichnet.

Es ist leicht, die Phasen des Mondes zu erklären. In Fig. 111 sei T die Erde, L_1, L_2, L_3 . . . L_8 der Mond in acht verschiedenen Stellungen, welche er während eines Umlaufes um die Erde passirt. Nehmen

wir an, die Sonne befände sich auf der rechten Seite unserer Figur und zwar in grosser Entfernung. Wenn der Mond sich in L_1, also zwischen der Erde und der Sonne befindet, so wendet er der Erde seine dunkle Seite zu, wir haben Neumond; ist aber der Mond in die Stellung L_2 gelangt, so erscheint er uns in der Gestalt Fig. 104, denn in dieser Stellung ist der uns sichtbare Theil der erleuchteten Mondhälfte begrenzt durch den Halbkreis aca' (a bezeichnet den scheinbar höchsten Punkt des Mondes, a' den tiefsten, welcher in Fig. 111 nicht sichtbar ist, weil er vertical unter a liegt) und durch den Halbkreis aba'. Ersterer erscheint uns als voller Halbkreis, die westliche Grenze der Mondscheibe bildend; letzterer aber, die Ostgrenze bildend, zur Ellipse verkürzt, welche gleichfalls ihre Wölbung nach Westen kehrt.

Ist der Mond in die Stellung L_3 gelangt, so erscheint die westliche Grenze noch immer als ein voller Halbkreis. Der Halbkreis aba' aber, welcher auf der uns zugekehrten Mondhälfte Licht und Schatten scheidet, erscheint uns zur geraden Linie verkürzt; wir sehen also den Mond in der Gestalt Fig. 105.

Wird der Winkelabstand des Mondes von der Sonne noch grösser, kommt er in die Stellung L_4, so erscheint uns nun die Grenzlinie aba' wieder elliptisch; aber die Wölbung jetzt nach Osten kehrend, während die westliche Grenze des Mondes noch immer ein voller Halbkreis ist, Fig. 106.

Zur Zeit der Opposition ist uns die ganz erleuchtete Hälfte des Mondes zugekehrt, er erscheint uns also als eine volle kreisförmige helle Scheibe.

Nach diesen Auseinandersetzungen hat es wohl keine Schwierigkeit mehr, die Mondgestalten Fig. 108, 109, 110 aus den Stellungen bei L_6, L_7 und L_8 abzuleiten.

Wegen der so schnellen eigenen Bewegung des Mondes ändert sich auch die Zeit seines Auf- und Unterganges sehr rasch; an jedem folgenden Tage geht der Mond fast eine Stunde später auf, als am vorhergehenden.

Die Stunden des Auf- und Unterganges des Mondes stehen mit seinen Phasen in engster Beziehung. Zur Zeit des Neumondes gehen Mond und Sonne zusammen auf und unter; der Mond ist also während des Tages — über, während der Nacht — unter dem Horizont, die Nächte sind zur Zeit des Neumondes nicht durch Mondschein erhellt.

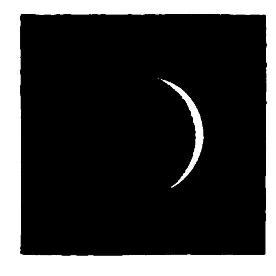
Zur Zeit des Vollmondes dagegen findet der Aufgang des Mondes ungefähr zur Zeit des Sonnenunterganges statt; der Vollmond leuchtet uns also die ganze Nacht hindurch.

Zur Zeit des ersten Viertels culminirt der Mond ungefähr, wenn die Sonne untergeht, der Untergang des Mondes findet alsdann um Mitternacht statt; das erste Viertel glänzt also am westlichen Himmel in der ersten Hälfte der Nacht.

Zur Zeit des letzten Viertels findet der Aufgang des Mondes um Mitternacht statt, das letzte Viertel erhellt also die letzte Hälfte der Nacht.

Wenn der Mond der Conjunction sehr nahe ist, wenn er uns also nur als eine ganz schmale Sichel erscheint, so ist der Rest der Mondscheibe nicht völlig dunkel, sondern man sieht ihn durch einen schwachen aschfarbigen Schimmer erhellt, wie Fig. 112 andeutet.

Fig. 112.



Es ist dies nicht etwa ein dem Monde eigenthümliches Licht, sondern es rührt daher, dass zur Zeit des Neumondes die ganze von der Sonne erleuchtete Erdhälfte gerade dem Monde zugekehrt ist. Die Mondnacht ist zu dieser Zeit durch den vollen Erdschein erleuchtet.

Gestalt der Mondbahn. Der scheinbare Durchmesser des Mondes variirt zwischen 29′ und 34′, die Entfernung des Mondes von der Erde ist also veränderlich und ebenso ist auch die Winkelgeschwindigkeit des Mondes in seiner scheinbaren Bahn nicht gleichförmig. Unter genauer Berücksichtigung aller dieser Umstände ergiebt sich, dass die Bahn des Mondes in Beziehung auf die Erde eine Ellipse ist; die Excentricität der Mondbahn beträgt ungefähr $^1/_{18}$ der halben grossen Axe. 70

Die Ebene der Mondbahn macht im Mittel einen Winkel von 5° 9′ mit der Ekliptik.

Die Bewegung des Mondes um die Erde, welche nach dem Gesagten ziemlich einfach erscheint, ist aber in der That sehr verwickelt, weil die Elemente der Mondbahn sich sehr rasch ändern.

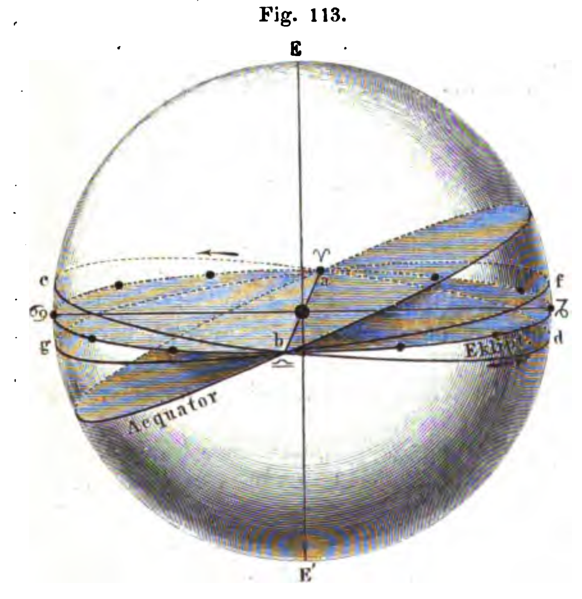
Die auffallendste Veränderung in den Elementen der Mondbahn ist zunächst die rasche Verschiebung der Knoten. Die Bewegung der Knotenlinie ist rückläufig und vollendet ihren ganzen Umlauf ungefähr in 18 Jahren 219 Tagen; die Ebene der Mondbahn dreht sich also gegen die Ordnung der Zeichen in einem Jahre etwas über 19°. So war die Länge des aufsteigenden Knotens im Januar 1855 ungefähr 49° (*c*, Fig. 3, Tab. 7). Bis zum Januar 1856 rückte der aufsteigende Knoten ungefähr um 19° dem Frühlingspunkte näher, so dass um diese Zeit seine Länge ungefähr nur noch 30° betrug. Ungefähr in der Mitte des Jahres 1857 erreichte der aufsteigende Knoten der Mondbahn den Frühlingspunkt; der niedersteigende Knoten fiel damals mit 0 ♎ zusammen.

Zu einer Zeit, in welcher der aufsteigende Knoten der Mondbahn, wie dies in den Jahren 1857 und 1875 der Fall war und wie es im Jahre 1894 wieder der Fall sein wird und wie es in Fig. 2, Tab. 8 dargestellt ist, mit 0 ♈, der absteigende aber mit 0 ♎ zusammenfällt,

erreicht sowohl die nördliche als auch die südliche Declination ein Maximum; denn der Winkel, welchen die Mondbahn mit dem Himmelsäquator macht, ist in diesem Falle gleich dem Winkel, welchen die Mondbahn mit der Ekliptik macht, + dem Winkel zwischen Ekliptik und Aequator, also $23^0\ 27' + 5^0\ 9' = 28^0\ 36'$. Die Mondbahn geht alsdann von 0 ♈ (siehe die Sternkarte, Tab. IV) über die Plejaden dicht unter *β* Tauri und *β* Geminorum vorbei durch den Herbstpunkt und über *α* Virginis und *α* Scorpii zum Frühlingspunkte zurück.

Die Neigung der Mondbahn gegen den Himmelsäquator wird ein Minimum, nämlich $23^0\,27' - 5^0\,9' = 18^0\,18'$, wenn der niedersteigende Knoten mit dem Frühlingspunkte zusammentrifft. Der Mond tritt alsdann (Fig. 1, Tab. 8) in 0 ♈ auf die Südseite der Ekliptik, und seine scheinbare Bahn geht nun ungefähr über Aldebaran etwas nördlich von *γ* Geminorum vorbei nach 0 ♎ über *γ* Librae und dann zwischen *α* und *β* Capricorni hindurch. Es war dies zuletzt in den Jahren 1866 und 1885 der Fall.

Fig. 113.



Zur Erläuterung der eben besprochenen Verhältnisse dient noch Fig. 113, welche die Himmelskugel sammt dem Aequator und der Ekliptik darstellt. Diese beiden Ebenen sind der Deutlichkeit wegen schattirt. *acbd* ist die auf die Himmelskugel projicirte Mondbahn zu einer Zeit, in welcher, der Fig. 2, Tab. 8 entsprechend, der aufsteigende Knoten der Mondbahn mit dem Frühlingspunkte zusammenfällt; der Winkel, welchen die Ebene der Mondbahn mit dem Aequator macht, ist alsdann $28^0\ 36'$.

In dieser Stellung bleibt aber die Mondbahn nicht stehen, sie bewegt sich so, als ob sie bei unveränderter Neigung gegen die Ekliptik um die Axe *EE'* derselben gegen die Ordnung der Zeichen gedreht würde, so dass der aufsteigende Knoten allmählich von ♈ nach ♑ und dann weiter von ♑ nach ♎ rückt. Ist der aufsteigende Knoten in 0 ♎, also in *b* angelangt, so hat nun die Ebene der Mondbahn die Lage *agbf*, sie macht zu dieser Zeit nur noch einen Winkel von $18^0\ 18'$ mit dem Aequator.

Hier mag noch die Bemerkung Platz finden, dass der Mond den nördlichen Wendepunkt seiner Bahn im Sommer um die Zeit des Neumondes, im Winter zur Zeit des Vollmondes passirt. Der Vollmond steht also in den Wintermonaten zur Zeit seiner Culmination viel höher, und bleibt weit länger über dem Horizont, als in den Sommermonaten.

Die Apsidenlinie (die grosse Axe) der Mondbahn ändert ihre Lage gleichfalls sehr rasch. Das Perigäum schreitet rechtläufig in jedem Jahre fast um 41° voran, so dass es in 8 Jahren 310 Tagen 14 Stunden einen vollständigen Umlauf um den ganzen Himmel herum macht.

Ferner ist die Excentricität und die Neigung der Mondbahn gegen die Ekliptik innerhalb gewisser Grenzen veränderlich. Diese und noch manche andere Unregelmässigkeiten des Mondlaufes, auf die wir zum Theil zurückkommen, wenn von den physikalischen Ursachen derselben die Rede sein wird, machen, dass die genaue Berechnung der Mondörter eine äusserst verwickelte ist.

Sternbedeckungen. Wenn der Mond zwischen der Erde und 71
einem Fixsterne oder einem Planeten hindurchgeht, so sagt man, dass der Mond dieselben bedecke. Solche Sternbedeckungen kommen ziemlich häufig vor.

Fig. 114.

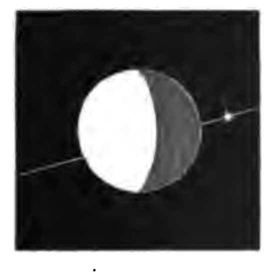


Fig. 115.



Da der Mond unter den Fixsternen in der Richtung von West nach Ost fortschreitet, so ist klar, dass die Sterne auf seiner Ostseite verschwinden und auf der Westseite wieder zum Vorschein kommen.

Fig. 114 und Fig. 115 stellen zwei Bedeckungen von α Scorpii dar, wie sie zu Berlin erschienen sind. Die erste fand am 26. März 1856 statt. Der Stern trat um $16^h\ 39{,}2^m$ am östlichen Rande des Mondes ein und um $17^h\ 58{,}6^m$ auf der Westseite wieder aus, die Bedeckung dauerte also 1 Stunde 19,4 Minuten. Bei der in Fig. 115 dargestellten Bedeckung, welche am 10. August 1856 stattfand, war die Zeit des Eintrittes $5^h\ 38{,}3^m$, die Zeit des Austrittes $6^h\ 9{,}7^m$ Berliner Zeit.

Das Verschwinden und das Wiedererscheinen der Sterne erfolgt plötzlich; besonders scharf lassen sich die Eintritte beobachten, wenn sie am dunklen Rande stattfinden, wie in dem Fig. 115 abgebildeten Falle.

Von den Sternen erster Grösse können vier bedeckt werden, nämlich Aldebaran, Regulus, Spica und Antares. Ein besonders interessantes Schauspiel bietet die Bedeckung der Plejaden dar.

Die Bedeckungen von α Tauri finden statt, wenn die Neigung der Mondbahn gegen den Aequator sehr klein ist, wenn also ihr aufsteigender Knoten sich in der Nähe von 0 ♎ befindet, wie in Fig. 1, Tab. 8; dagegen werden die Plejaden bedeckt, wenn der Winkel, welchen die Ebene der Mondbahn mit dem Aequator macht, seinem grössten Werthe nahe ist, wenn also der aufsteigende Knoten in der Nähe des Frühlingspunktes liegt, Fig. 2, Tab. 8, wie dies z. B. im Jahre 1857 der Fall war.

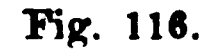
Es ist bereits oben in §. 18 (S. 58) angeführt worden, dass die Sternbedeckungen ein ausgezeichnetes Mittel zur Längenbestimmung sind; aus diesem Grunde werden die Bedeckungen (Occultationen) der Fixsterne erster bis sechster Grösse auf mehrere Jahre vorausberechnet. In den Ephemeriden findet man den Moment des Eintrittes und den Moment des Austrittes der Fixsterne oder Planeten nach der Zeit der entsprechenden Sternwarte ausgedrückt.

In den Jahren 1894 und 1895 finden für Berlin folgende Sternbedeckungen statt:

Datum	Grösse des Sterns	Name des Sterns	Eintritt m. Berl. Zt.	Austritt m. Berl. Zt.
1894 Januar 16.	$4^1/_2$	ζ Arietis	$10^h\ 37^m$ Ab.	nach Monduntergang
„ 17.	5	τ' Arietis	12 53 M.	$1^h\ 49^m$ M.
März 23.	1	α Virginis	vor Sonnenaufgang	6 12 M.
„ 26.	5	A Scorpii	3 45 M.	5 6 M.
August 24.	4	27 Tauri	1 54 M.	2 47 M.
September 17.	4	ε Piscium	3 5 M.	3 59 M.
October 7.	5	A Sagittarii	7 35 Ab.	8 29 Ab.
November 13.	4	27 Tauri	9 27 Ab.	10 27 Ab.
December 15.	$4^1/_2$	γ Cancri	7 55 Ab.	8 41 Ab.
1895 Januar 7.	5	23 Tauri	4 58 Ab.	6 2 Ab.
„ 7.	3	η Tauri	5 35 Ab.	6 39 Ab.
„ 7.	4	27 Tauri	6 18 Ab.	7 21 Ab.
Februar 9.	$4^1/_2$	γ Cancri	5 35 Ab.	6 28 Ab.
Mai 10./11.	3	π Scorpii	11 36 Ab.	12 15 M.
Juni 6./7.	$3^1/_2$	τ Scorpii	11 42 Ab.	12 24 M.
„ 26.	$1^1/_2$	α Leonis	8 57 Ab.	9 48 Ab.
September 29.	3	δ Capricorni	10 0 Ab.	11 15 Ab.
„ 30.	5	σ Aquarii	10 49 Ab.	10 50 Ab.
October 6.	3	ε Arietis	10 29 Ab.	11 34 Ab.
„ 8.	3	η Tauri	8 13 Ab.	8 44 Ab.
November 11.	4	ρ Leonis	4 35 M.	5 34 M.
„ 27.	$4^1/_2$	δ Piscium	6 36 Ab.	7 54 Ab.
December 7.	$1^1/_2$	α Leonis	10 26 Ab.	11 16 Ab.

72 **Parallaxe, Entfernung und Grösse des Mondes.** Der Mond steht der Erde so nahe, dass er, gleichzeitig von verschiedenen

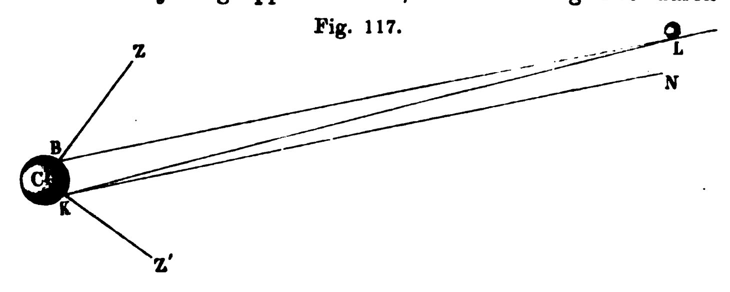
Orten der Erdoberfläche aus betrachtet, an verschiedenen Stellen des Himmelsgewölbes projicirt erscheint; wenn zu Berlin ein Stern eben den nördlichen Mondrand berührt, so wird der Mond, vom Cap der guten Hoffnung aus betrachtet, noch nördlich von jenem Sterne gesehen werden, und zwar wird der Abstand des Sternes vom südlichen Mondrande noch


Fig. 116.



ungefähr 50′ betragen. Wenn der Mond, von Berlin aus gesehen, an der Stelle der Plejadengruppe erscheint, welche in Fig. 116 durch den

Fig. 117.



ganz weissen Kreis bezeichnet ist, so sieht man ihn gleichzeitig vom Cap der guten Hoffnung aus an der Stelle des schraffirten Kreises.

Es geht daraus hervor, dass die Mondparallaxe sehr bedeutend ist, und daher kommt es auch, dass sie schon sehr früh annähernd genau bestimmt worden war. Schon Hipparch bestimmte sie zu 47,5 bis 55,5 Minuten, während ihr mittlerer Werth in Wirklichkeit etwa 57 Minuten beträgt.

Am einfachsten erhält man die Mondparallaxe dadurch, dass zwei Beobachter an zwei möglichst weit von einander entfernten Orten, welche nahezu auf demselben Meridian liegen, an demselben Tage die Zenithdistanz des Mondes zur Zeit der Culmination bestimmen.

Fig. 119.

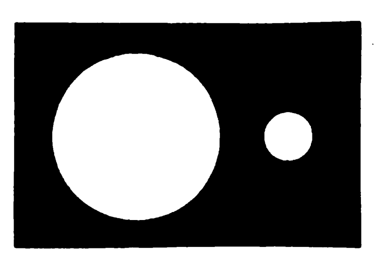
So fand z. B. den 6. December 1751 Lalande in Berlin die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes beim Durchgange durch den Meridian gleich 41° 15′ 44″, während auf dem Cap der guten Hoffnung an demselben Tage Lacaille bei der Culmination des Mondes die Zenithdistanz des südlichen Mondrandes gleich 46° 33′ 37″ fand.

Die Polhöhe des Beobachtungsortes in Berlin war 52° 31′ 13″ nördl.

Die Polhöhe desjenigen am Cap war 33° 55′ 15″ südl.

In Fig. 117 (a. v. S.) sei C der Mittelpunkt der Erde, B Berlin, K das Cap der guten Hoffnung, L der südliche Mondrand. ZBL ist die zu Berlin und $Z'KL$ ist die auf dem Cap beobachtete Zenithdistanz des südlichen Mondrandes. — Wäre der Mond unendlich weit entfernt, so wären die nach ihm von B und K aus gerichteten Visirlinien BL und KL einander parallel und die Summe der Zenithdistanzen ZBL und $Z'KL$ müsste gleich sein dem Winkel BCK, also 86° 26′ 28″. Die Summe der beobachteten Zenithdistanzen ist aber 87° 49′ 21″, mithin ist der Winkel NKL, also auch Winkel $BLK = 1^0 22' 53''$ oder mit anderen Worten, die Sehne BK erscheint, vom Mond aus gesehen, unter einem Winkel von 1° 22′ 53″. Danach ergiebt sich dann die Horizontalparallaxe des Mondes, d. h. der Winkel, unter welchem, vom Mond aus gesehen, der Halbmesser der Erde erscheint, wenn man bei der Berechnung alle nöthigen Correctionen anbringt, gleich 0° 58′ 44,2″.

Fig. 118.



Da die Entfernung des Mondes von der Erde variirt, so ist auch die Horizontalparallaxe des Mondes veränderlich; der mittlere Werth derselben ist 0° 57′ 2,3″, und demnach ist die mittlere Entfernung des Mittelpunktes des Mondes von dem Mittelpunkte der Erde gleich 60,270 Halbmessern des Erdäquators oder 384400 km.

Da nun die Entfernung des Mondes von der Erde und der scheinbare Durchmesser bekannt ist, unter welchem er uns erscheint, so kann man auch den wahren Durchmesser desselben berechnen, welcher sich gleich 0,2728 Erddurchmessern oder gleich 3480 km ergiebt.

Der Durchmesser des Mondes ist also ungefähr $^3/_{11}$, die Oberfläche desselben $^3/_{40}$ und das Volumen desselben $^2/_{97}$ von den entsprechenden Grössen der Erde.

Fig. 118 dient dazu, um das Grössenverhältniss der Erde und des Mondes anschaulich zu machen.

Fig. 119 stellt die Erde, den Mond und ihre gegenseitige Entfernung im richtigen Verhältnisse dar.

Fig. 120.

Bahn des Mondes im Sonnensystem. 73

Wir haben oben die Bewegung des Mondes nur in Beziehung auf die Erde betrachtet; da aber die Erde selbst eine fortschreitende Bewegung hat, da sie um die Sonne kreist, so ist die Bahn des Mondes im Raume oder vielmehr in Beziehung auf die Sonne eine Epicycloide (§. 47). Die Mondcycloide zeigt aber keine Verschlingungen, wie wir sie oben kennen lernten, weil der Halbmesser des Deferenten sehr gross ist im Vergleich zum Radius des Epicykels, und weil die Geschwindigkeit des Mondes im Epicykel sehr gering ist gegen die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn. Der Charakter der Mondcycloide ist aus Fig. 120 zu ersehen, deren Construction nach §. 47 wohl leicht verständlich sein wird; doch ist hier noch zu bemerken, dass diese Figur die Mondcycloide noch keineswegs im richtigen Verhältnisse zeigt, vielmehr ist der Abstand des Mondes von der Erde in dieser Figur noch viel zu gross genommen im Vergleich zum Halbmesser der Erdbahn. Sollte in der Zeichnung das richtige Verhältniss eingehalten werden, so müsste der Radius des Epicykels $^1/_{400}$ vom Radius des Deferenten, es müsste TL, $T_1 L_1$ u. s. w. $^1/_{400}$ des Halbmessers sein, mit welchem der Bogen $T T_4$ gezogen ist; die Mondcycloide ist also in der That viel flacher, als die in unserer Figur dargestellte Curve und zwar so flach, dass sie gegen die Sonne immer concav und nur an einigen Stellen weniger gekrümmt ist als an anderen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Mond in seiner Bahn um die Erde fortschreitet, ist ungefähr 30 mal geringer, als die Geschwindigkeit der Erde auf ihrem Wege um die Sonne.

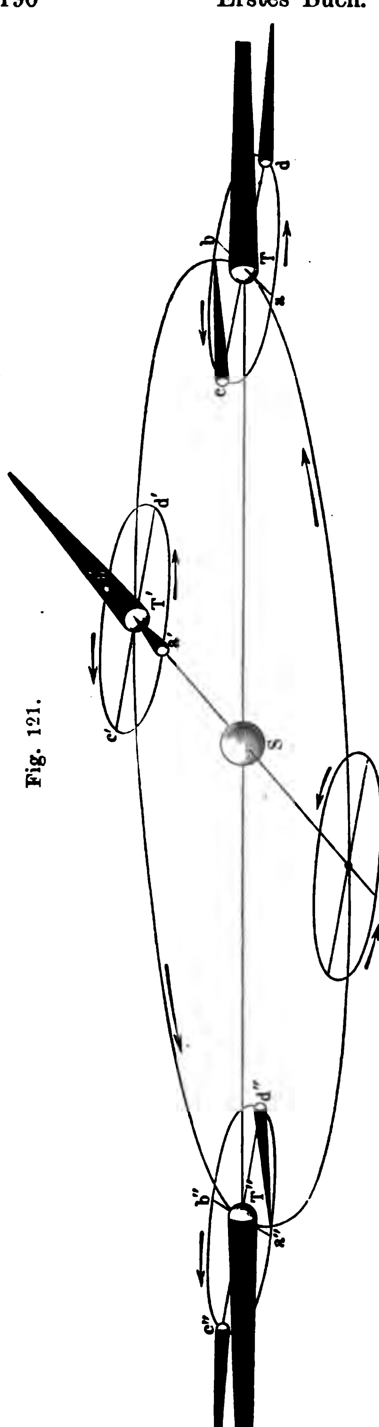
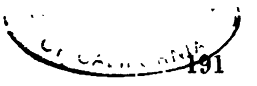


Fig. 121.

In Fig. 120 ist die Bahn des Mondes im Sonnensystem so dargestellt, als ob sie ganz mit der Ebene der Erdbahn zusammenfiele oder vielmehr ist in Fig. 120 die Projection der Mondbahn auf die Ebene der Ekliptik dargestellt. Um eine richtige Vorstellung von der wahren Lage der Mondbahn im Raume zu geben, muss man dieselbe, wenn man nicht zu einem Modelle seine Zuflucht nehmen will, perspectivisch darstellen, wie dies (natürlich ohne Einhaltung der richtigen Grössenverhältnisse) in Fig. 121 geschehen ist. S stellt die Sonne dar, um welche die Erde in einem Kreise sich bewegt, welcher in unserer Figur zu einer Ellipse $TT'T''$ verkürzt erscheint. Für den Moment, in welchem sich die Erde in T befindet, sei $adbc$ die Lage der Mondbahn, welche die Ebene der Erdbahn in der Linie ab schneidet. ab ist also die Knotenlinie der Mondbahn, deren eine Hälfte bca über der Ebene der Erdbahn liegt, während die andere Hälfte adb sich auf der Südseite der Erdbahn befindet. Der Winkel cTS, welchen die Ebene der Mondbahn mit der Ebene der Erdbahn macht, beträgt 5° 9'; er ist in unserer Figur der Deutlichkeit halber zu gross aufgetragen, ebenso wie der Durchmesser der Mondbahn im Verhältnisse zu dem der Erdbahn viel zu gross gezeichnet ist. Ebenso ist in unserer Figur der Durchmesser der Sonne, der Erde und des Mondes im Verhältniss zum Abstande TS der Erde von der Sonne zu gross dargestellt.

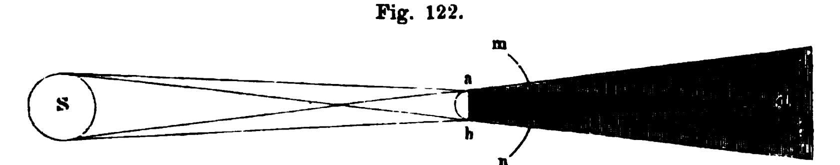
Es ist also $adbc$ der epicyklische Kreis, dessen Umfang der



Mond in 27 Tagen 7^h und 43^m durchläuft, während die im Mittelpunkte dieser Bahn stehende Erde im Deferenten $TT'T''$ fortrollt. Wenn die Erde nach T' gekommen ist, so hat nun (wenn man von der Bewegung der Knotenlinie abstrahirt) der epicyklische Kreis die Lage $a'd'b'c'$, er hat die Lage $a''d''b''c''$, wenn die Erde nach T'' gekommen ist.

Mondfinsternisse. Da die Erde ein dunkler, undurchsichtiger 74
Körper ist, so muss sie einen Schatten geben, welcher, da die Erde kleiner ist als die Sonne, die Gestalt eines Kegels abd, Fig. 122, hat, dessen kreisförmige Basis durch den Umfang der Erde gebildet ist. In diesen Raum abd dringt kein Sonnenstrahl, es ist der Kernschatten. Dieser Kernschatten ist ringsum von einem Halbschatten umgeben, welcher diejenigen Stellen umfasst, an welchen nur ein Theil der Sonnenscheibe sichtbar ist, an welchen also weder vollkommener

Fig. 122.



Ausschluss der Sonnenstrahlen, noch eine volle Erleuchtung stattfindet.

Die Länge des Kernschattens beträgt ungefähr 216 Erdhalbmesser; sie wird grösser, wenn die Erde im Aphelium, kleiner, wenn sie im Perihelium sich befindet.

Durch diesen Schatten geht nun der Mond von Zeit zu Zeit hindurch und erscheint uns dann verfinstert. Solche Mondfinsternisse können natürlich nur stattfinden, wenn ☾ ☍ ☉, also zur Zeit des Vollmondes.

Dass aber nicht bei jedem Vollmond eine Mondfinsterniss eintritt, ist leicht einzusehen. Der Mond ist 60 Erdhalbmesser von der Erde entfernt; in dieser Entfernung aber ist der Durchmesser des Kernschattens gleich 0,72 Erddurchmessern oder gleich 2,9 Monddurchmessern. Von der Erde aus gesehen erscheint also der Halbmesser des Kernschattens an jener Stelle unter einem Winkel von ungefähr 44 Minuten.

Der Mittelpunkt des Erdschattens befindet sich natürlich stets auf der Ekliptik, und zwar der Sonne diametral gegenüberstehend. Wenn sich also der Mondrand zur Zeit des Vollmondes der Ekliptik wenigstens bis auf 44 Minuten genähert hat, so tritt er in den Erdschatten ein; wenn aber, wie dies meistens und auch in dem Fig. 3, Tab. 7 dargestellten Stücke der Mondbahn der Fall ist, zur Zeit der Opposition (also des Vollmondes) der Mond weiter von der Ekliptik entfernt ist, so geht er entweder über oder unter dem Erdschatten vorüber, und es findet alsdann keine Mondfinsterniss statt.

Eine Mondfinsterniss kann also nur dann stattfinden, wenn sich der Mond zur Zeit seiner Sonnenopposition in der Nähe des aufsteigenden oder des niedersteigenden Knotens seiner Bahn befindet, wenn also zur Zeit des Vollmondes die Knotenlinie der Mondbahn nahezu mit der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde zusammenfällt, wie dies bei T', Fig. 121, der Fall ist. Passirt der Mond den aufsteigenden Knoten b', während gleichzeitig die Knotenlinie $a'b'$ mit $T'S$ zusammenfällt, so geht der Mond durch den Erdschatten, es findet eine Mondfinsterniss statt.

Ebenso wird eine Mondfinsterniss stattfinden, wenn der Mond zur Zeit der Opposition den niedersteigenden Knoten passirt, während also die Knotenlinie der Mondbahn wiederum in einer geraden Linie mit der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne liegt.

Es findet dagegen keine Mondfinsterniss statt, wenn zur Zeit, in welcher der Mond mit der Sonne in Opposition kommt, die Knotenlinie seiner Bahn bedeutend von der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde abweicht. Der Vollmond geht namentlich, wie bei d und c'', unter oder über dem Erdschatten her, wenn die Knotenlinie ab bei T oder $a''b''$ bei T'' rechtwinklig auf der Verbindungslinie zwischen Erde und Sonne steht.

Das Wesen der Mondfinsternisse wird wohl am besten durch die Betrachtung einzelner Fälle erläutert.

Zur Construction des Verlaufes der Mondfinsterniss, welche am 3. September 1876 stattfand, enthält der Nautical Almanac folgende Data:

☾ ☍ ☉ in R. A.	$8^h\,32{,}5^m$,
☾ Decl.	$8^0\;3{,}8'$ südlich,
☉ Decl.	$7^0\,12{,}6'$ nördlich,
☾ stündl. Bew. in R. A. . .	$28{,}1'$,
☉ stündl. Bew. in R. A. . .	$2{,}25'$,
☾ stündl. Bew. in Decl. . .	$14{,}5'$ nördlich,
☉ stündl. Bew. in Decl. . .	$0{,}9'$ südlich.

Da der Erdschatten der Sonne diametral gegenübersteht, so ist die südliche Declination des Erdschattens gleich der nördlichen Declination der Sonne; im Moment der Mondopposition steht also der Mittelpunkt des Mondes um $51{,}2' = 8^0\,3{,}8' - 7^0\,12{,}6'$ südlicher, als der Mittelpunkt des Erdschattens.

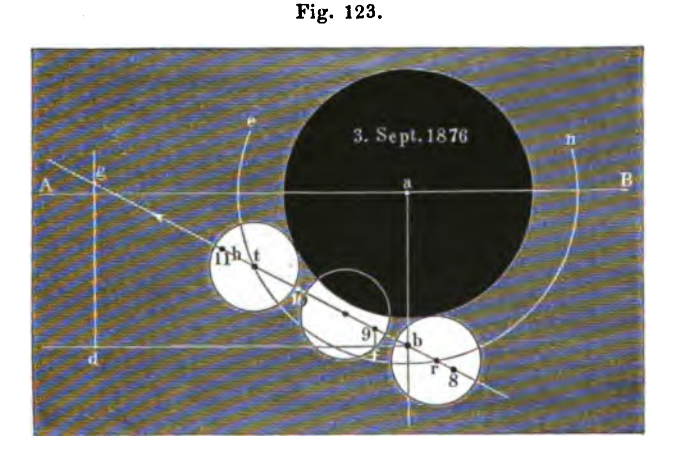
In Fig. 123 stelle nun a den Mittelpunkt des Erdschattens und die durch a gezogene Horizontale AB eine mit dem Himmelsäquator parallele Linie dar. Der Maassstab unserer Figur ist ein solcher, dass für fünf Bogenminuten eine Länge von 2 mm aufgetragen ist; auf der durch a rechtwinklig zu AB gezogenen Linie ist demnach die Länge $51{,}2 \,.\, {}^2/_5 = 20{,}5$ mm aufgetragen, um die Lage b des Mondmittelpunktes zur Zeit der Mondopposition zu finden.

In unserer Figur ist der Erdschatten als ein vollkommen schwarzer Kreis dargestellt, dessen Radius $44 \cdot {}^2/_5 = 17{,}6$ mm gleich ist, da der Halbmesser des Erdschattens an der Stelle, wo ihn der Mond passirt, im Mittel 44′ beträgt.

Es ist hier für den Halbmesser des Erdschattens an der fraglichen Stelle der Mittelwerth von 44′ genommen worden. Wenn die Construction genaue Resultate geben sollte, so dürfte man sich mit diesem Mittelwerthe nicht begnügen, sondern man müsste ihn aus der Entfernung, in welcher sich zur Zeit der Finsterniss Sonne und Mond gerade befinden, erst berechnen. Die Elemente zu einer solchen Berechnung finden sich in den astronomischen Jahrbüchern.

Der Erdschatten steht aber nicht still, er schreitet in einer Stunde um 2,25′ von West nach Ost, also in unserer Figur von der Rechten zur Linken fort. In einer Stunde bewegt sich aber der Mond in gleicher

Fig. 123.



Richtung um 28,1′ vorwärts; wir können also, da es sich nur um die relative Bewegung des Mondes und des Erdschattens handelt, annehmen, dass der Erdschatten stillstände und dass der Mond parallel dem Aequator in einer Stunde nur um $28{,}1 - 2{,}25 = 25{,}85'$ nach Osten hin fortschritte.

In vier Stunden wird also die Rectascension des Mondmittelpunktes um $4 \cdot 25{,}85 = 103{,}4'$ mehr gewachsen sein, als die des Erdschattens, er wird sich also parallel mit BA gegen den Erdschatten um die Länge $bd = 103{,}4 \cdot {}^2/_5 = 41{,}4$ mm fortbewegt haben.

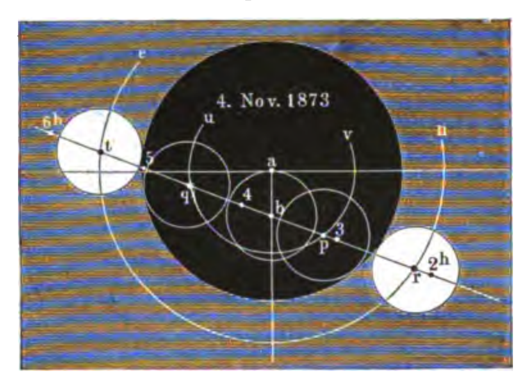
Der Mond bewegt sich ferner in jeder Stunde um 14,5′, der Erdschatten aber um 0,9′ nach Norden, in Beziehung auf den Erdschatten beträgt also die stündliche Bewegung des Mondes in Declination $14{,}5 - 0{,}9 = 13{,}6'$, in vier Stunden also 54,4′, was in unserer Figur einer Länge von $54 \cdot 4^2/_5 = 21{,}76$, oder in runder Zahl 21,8 mm entspricht.

Trägt man nun von d in verticaler Richtung die Länge $dg = 21{,}8$ mm auf, so ist gb die Richtung, nach welcher sich der Mond gegen den Erdschatten bewegt.

In b steht der Mittelpunkt des Mondes um 8 Uhr 32,5 Minuten Greenw. m. Z., also um 27,5′ vor 9 Uhr. In 27,5′ bewegt sich aber, wie sich leicht berechnen lässt, der Mittelpunkt des Mondes gegen den Erdschatten um 11,86′ nach Osten, was in unserer Figur einer Länge von $11{,}86^2/_5 = 4{,}75$ mm entspricht. Misst man also auf bd die Länge $bf = 4{,}75$ mm ab, so trifft ein in f errichtetes Perpendikel die Linie bg in einem Punkte, in welchem der Mittelpunkt des Mondes um 9 Uhr anlangt. Macht man ferner den Abstand 9 bis 8, 9 bis 10, 10 bis 11 gleich $^1/_4\, bg$, so erhält man die Punkte, in welchen der Mittelpunkt des Mondes um 8^h, 10^h, 11^h eintrifft.

Um die Punkte zu finden, in welchen der Mittelpunkt des Mondes beim Beginn und am Ende der Finsterniss steht, in den Momenten also,

Fig. 124.

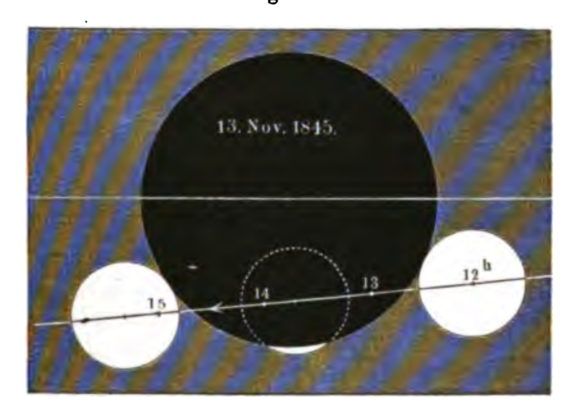


in welchen die Mondscheibe den Erdschatten beim Eintritt in denselben und beim Austritt aus demselben aussen berührt, hat man einen Kreisbogen en zu ziehen, dessen Radius um den Halbmesser der Mondscheibe grösser ist, als der Radius des Erdschattens. In den Punkten r und t, in welchen dieser Kreisbogen die Bahn des Mondmittelpunktes schneidet, steht der Mondmittelpunkt im Beginn und am Ende der Finsterniss. In dem Punkte, welcher zwischen r und t in der Mitte liegt, befindet sich der Mondmittelpunkt im Moment, in welchem der Mond am tiefsten in den Erdschatten eingetaucht ist.

Bei der Construction unserer Figur ist der scheinbare Durchmesser des Mondes zu 30′ angenommen, also der Radius des Mondes in einer Länge von 6 mm aufgetragen. Wenn es sich um genaue Resultate handelt, darf man sich natürlich nicht mit Mittelwerthen begnügen, sondern man muss den Mondhalbmesser mit derjenigen Grösse auftragen, welche der jeweiligen Entfernung des Mondes von der Erde entspricht.

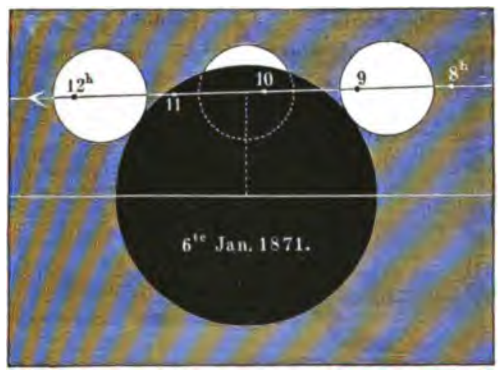
Die in Fig. 123 dargestellte Finsterniss war eine partielle, d. h. eine solche, bei welcher die Mondscheibe nur theilweise in den Erdschatten eintritt. In anderen Fällen tritt die ganze Mondscheibe in den Erdschatten ein, es ereignet sich eine totale Mondfinsterniss, wie dies z. B. am 4. November 1873 der Fall war. Der Verlauf dieser Finsterniss ist in Fig. 124 dargestellt. Die Punkte, in welchen der

Fig. 125.



Mittelpunkt des Mondes im Beginn und am Ende der totalen Finsterniss steht, sind die Punkte *p* und *q*, in welchen die Bahn des Mondmittelpunktes von dem Kreisbogen *uv* geschnitten wird, dessen Radius

Fig. 126.



um die Länge des Mondhalbmessers kleiner ist, als der Halbmesser des Erdschattens.

Um die Grösse einer partiellen Mondfinsterniss zu bestimmen, d. h. um anzugeben, der wievielste Theil der Mondscheibe verfinstert ist, denkt man sich den Durchmesser des Mondes, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Erdschattens geht, in 12 gleiche Theile

getheilt, welche man Zolle nennt und giebt dann an, wie viele dieser Zolle verfinstert sind. So hat das Maximum der Verfinsterung am 3. September 1876 etwas über vier Zoll betragen. Bei der Finsterniss vom 13. November 1845, Fig. 125 (a. v. S.), wurden gegen 11 Zoll, bei der am 6. Januar 1871, Fig. 126, gegen 10 Zoll verfinstert.

Die Grenze des Erdschattens erscheint auf dem Monde stets als Kreisbogen; er ist aber nie vollkommen scharf begrenzt, weil eben der Uebergang aus dem Kernschatten in den Halbschatten ein allmählicher ist.

Anfangs, wenn eben der Mond in den Erdschatten einzutreten beginnt, erscheint der verfinsterte Theil des Mondes von grauer Farbe und alle Flecken verschwinden. Wenn sich aber der Mond mehr und mehr in den Erdschatten einsenkt, geht dieses Grau in Roth über und dabei werden die Flecken wieder sichtbar, so dass, wenn die totale Finsterniss eingetreten ist, nun die ganze Mondscheibe eine eigenthümlich dunkelrothe Färbung zeigt, in welcher sich Einzelheiten auf der Mondoberfläche wieder unterscheiden lassen. In sehr ausgezeichneter Weise war diese rothe Färbung der verfinsterten Mondscheibe auch bei der nicht ganz totalen Mondfinsterniss vom 13. October 1856 wahrnehmbar; bei manchen totalen Mondfinsternissen ist aber die rothe Färbung nur äusserst schwach zu sehen gewesen.

Das rothe Licht des Mondes während einer totalen oder nahe totalen Verfinsterung rührt offenbar von dem zerstreuten Lichte her, welches die erleuchtete Erdatmosphäre noch in den Erdschatten hineinsendet, und die Intensität der Färbung hängt vermuthlich mit der grösseren oder geringeren Bewölkung der Erdatmosphäre zusammen.

75 **Die nächsten Mondfinsternisse.** Im Jahre 1894 finden zwei partiale Mondfinsternisse statt, am 31. März und 15. September, von denen aber nur die zweite in unseren Gegenden in den frühen Morgenstunden theilweise wird beobachtet werden können. Im Jahre 1895 werden zwei totale Mondfinsternisse stattfinden, am 11. März und 4. September, von denen die erste fast während ihres ganzen Verlaufes, von der zweiten aber nur der Beginn in Deutschland sichtbar sein wird. Von zwei partialen Mondfinsternissen im Jahre 1896 (Februar 21. und August 22.) wird nur die erste theilweise in Deutschland gesehen werden können.

76 **Sonnenfinsternisse** sind Erscheinungen, welche einerseits den Sternbedeckungen durch den Mond, andererseits dem Durchgang der unteren Planeten vor der Sonnenscheibe analog sind; sie treten ein, wenn die Erde durch den Schatten des Mondes hindurchgeht, können also nur zur Zeit des Neumondes stattfinden.

So wenig jeder Vollmond eine Mondfinsterniss bringt, so wenig ereignet sich auch bei jedem Neumond eine Sonnenfinsterniss, weil sich

der Mond so weit von der Ekliptik entfernt, dass sein Schatten meist über oder unter der Erde vorbeistreicht, ohne sie zu treffen. Eine Sonnenfinsterniss kann nur dann stattfinden, wenn der Mond zur Zeit seiner Conjunction mit der Sonne ganz in der Nähe der Ekliptik steht, oder mit anderen Worten, wenn der Neumond zu einer Zeit stattfindet, in welcher die Knotenlinie der Mondbahn nahezu mit der Verbindungslinie zwischen Sonne und Erde zusammenfällt, wie bei *T'*, Figur 121, Seite 190.

Im Mittel ist der scheinbare Durchmesser des Mondes 31,5, der der Sonne 32 Minuten, die Spitze des Mondkernschattens reicht demnach nicht immer bis auf die Erde. Wenn aber die Sonne in ihrer Erdferne, der Mond gerade in seiner Erdnähe ist, so ist der scheinbare Durchmesser der Sonne 31,5, der des Mondes 34 Minuten, und in diesem Falle ist der Kernschatten des Mondes länger, als der Abstand der Erde von demselben; der Kernschatten trifft also noch auf die Erdoberfläche, wie dies auch in der schematischen Fig. 127 der Fall ist, in welcher *S* die Sonne, *L* den Mond und *T* die Erde darstellt.

Fig. 127.

An den gerade vom Kernschatten des Mondes getroffenen Stellen der Erde ist die Sonnenscheibe vollständig durch den Mond verdeckt, es findet eine *totale Sonnenfinsterniss* an diesen Orten statt.

Für denjenigen Ort der Erde, von welchem aus gesehen die Mittelpunkte der Sonne und des Mondes sich decken, ist die Finsterniss eine *centrale*; natürlich kann sie nur für einen Augenblick central sein. Die centrale Finsterniss ist zugleich eine *ringförmige*, wenn gerade der scheinbare Durchmesser des Mondes kleiner ist, als der scheinbare Durchmesser der Sonne. Bisweilen kann es vorkommen, dass eine Finsterniss an den Stellen der Erdoberfläche, welche dem Monde und der Sonne am nächsten sind, total erscheint, während sie auf den übrigen Theilen der centralen Linie ringförmig gesehen wird.

Fig. 128 (a. f. S.) stellt die ringförmige Sonnenfinsterniss vom 15. März 1858 dar, wie sie z. B. in Oxford erschien.

Der Kernschatten des Mondes ist von einem Halbschatten umgeben, dessen Durchmesser mit der Entfernung vom Monde zunimmt, wie die Fig. 127 zeigt.

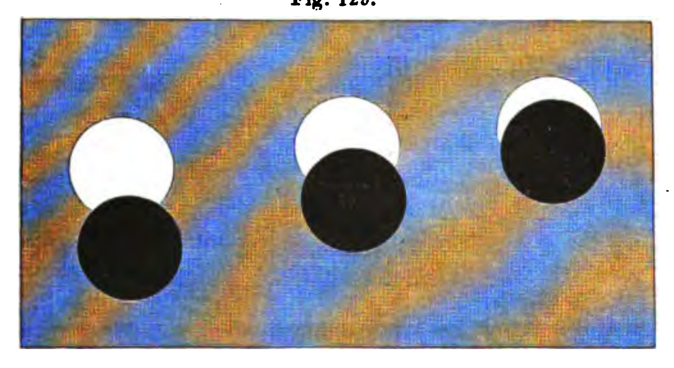
An der Stelle, an welcher die Erde in denselben eintreten kann, ist der Durchmesser seines Querschnittes ungefähr dem Halbmesser der Erde gleich; er ist kleiner, wenn der Kernschatten des Mondes die Erde noch trifft, grösser, wenn dies nicht mehr der Fall ist. An solchen Orten der Erdoberfläche, welche in dem Halbschatten des Mondes liegen, erscheint nur ein Theil der Sonnenscheibe durch den Mond verdeckt; hier ist die Sonnenfinsterniss eine partiale.

Fig. 128.



Um die Grösse der Bedeckung bei einer partialen Finsterniss anzugeben, denkt man sich den Durchmesser der Sonne, welcher in die Verbindungslinie der Mittelpunkte der Sonnen- und Mondscheibe fällt, in 12 gleiche Theile (Zolle) getheilt und giebt dann an, wie viele Zolle verdeckt sind. So

Fig. 129.



zeigt Fig. 129 eine Verfinsterung von drei, eine solche von sechs und endlich eine solche von neun Zoll.

Eine Mondfinsterniss bietet auf der ganzen Erdhälfte, für welche sich der in den Erdschatten eingetauchte Mond über dem Horizonte befindet, ganz den gleichen Anblick dar. Der Moment, in welchem man den Mond gerade in den Erdschatten eintreten sieht, ist derselbe für alle Orte der Erde, an denen überhaupt das Phänomen sichtbar ist. Ebenso sehen die Beobachter der verschiedensten Gegenden den Mond in demselben Momente wieder aus dem Schatten hervortreten. Ganz anders verhält es sich bei Sonnenfinsternissen. Während an einem Orte eine totale Sonnenfinsterniss stattfindet, beobachtet man in benachbarten Gegenden nur eine partiale, in entfernteren gar keine Sonnenfinsterniss; ebenso sind die Zeitpunkte, in welchen die Sonnenfinsterniss beginnt und endet, für verschiedene Orte auf der Erde nicht dieselben.

Die eben angedeuteten Verhältnisse werden am besten erläutert, wenn wir den Vorgang irgend einer speciellen Sonnenfinsterniss näher

betrachten, und besonders, wenn wir untersuchen, welches der Verlauf der Erscheinung, vom Monde aus betrachtet, sein wird.

Am 4. April 1856 fand eine in Australien sichtbare Sonnenfinsterniss statt. Dem Berliner astronomischen Jahrbuche zufolge war der Moment der Conjunction von Sonne und Mond am 4. April $18^h\,43^m\,35^s$ Berliner Zeit. In diesem Augenblicke war die geocentrische Länge der Sonne und des Mondes (nämlich der Mittelpunkt beider Himmelskörper) $15^0\,38'\,21''$. Die heliocentrische Länge des Mittelpunktes der Erde sowohl wie des auf die Erde fallenden Mondschattens war demnach in dem fraglichen Moment $195^0\,38'\,21''$; die gleichzeitige südliche Breite des Schattenmittelpunktes war $48'\,24{,}6''$.

In Fig. 1 auf Tab. XI, welche nach 1,14 mal grösserem Maassstabe gezeichnet ist, als die Figuren 123 bis 126, stellt AB ein Stück der Ekliptik, C den Mittelpunkt der Erde und m den Mittelpunkt des Mondschattens für den Moment der Conjunction dar. Zur Zeit jener Finsterniss war dem astronomischen Jahrbuche zufolge die Horizontalparallaxe des Mondes gleich $61'\,9{,}6''$, ein mit dem Halbmesser $61{,}1 \,.\, {}^2/_5 \,.\, 1{,}14 = 27{,}8$ mm um den Mittelpunkt C beschriebener Kreis stellt also den Umfang der vom Monde aus betrachteten Erdkugel dar.

Die Figur zeigt uns nun die Erdhälfte, welche im Moment der fraglichen Conjunction gerade der Sonne zugewandt war. Der Kernschatten des Mondes fiel in diesem Augenblicke auf die südwestliche Spitze von Neuholland; hier, innerhalb des kleinen schwarzen Kreises, fand eben eine totale Sonnenfinsterniss statt.

Dieser Kernschatten war aber von einem Halbschatten umgeben, welcher den grössten Theil von Neuholland bedeckte und sich nördlich bis zur Insel Java erstreckte. An allen Orten, welche innerhalb dieses Halbschattens lagen, fand eine partiale Sonnenfinsterniss statt, und zwar war der von dem Monde bedeckte Theil der Sonnenscheibe um so kleiner, je weiter man von dem Kernschatten entfernt war. Ueber die Grenze des Halbschattens hinaus, also in ganz Asien und Afrika, fand keine Bedeckung der Sonnenscheibe statt.

Unsere Figur stellt den auf die Erde fallenden Mondschatten nur für einen bestimmten Moment dar; vor und nach diesem Zeitpunkte aber musste der Schatten auf andere Gegenden fallen, wie man leicht ersehen kann, da der Mittelpunkt des Mondschattens in der Richtung der Linie DF fortschritt, während gleichzeitig die Erde in der Richtung des kleinen am Aequator gezeichneten Pfeiles um ihre Axe rotirte. Auf der Linie DF sind die Punkte bezeichnet, in denen sich der Mittelpunkt des Mondschattens um 16^h, 17^h u. s. w. bis 21^h (Berliner Zeit) befand. Der Mondschatten traf die Erde zuerst, als der Mittelpunkt desselben sich in a befand, um $16^h\,36^m$ Berliner Zeit, also zu einer Zeit, in welcher ungefähr der 124. Längengrad (etwas östlich von der Ostküste Chinas) in der Mitte der erleuchteten Erdhälfte lag und für die Stelle, wo der Erdäquator die Ostküsten Afrikas schneidet, die Sonne eben aufging.

Das Ende der Finsterniss fand statt, als der Mittelpunkt des Mondschattens in *b* angelangt war, was um $21^h\ 8^m$ Berliner Zeit stattfand, bis zu welchem Zeitpunkte sich dann die Erde so weit um ihre Axe gedreht hatte, dass nun die Sonne auf dem 56. Längengrade östlich von Greenwich culminirte, also der Eingang des Persischen Meerbusens, das Uralgebirge und Nowaja-Semlja Mittag hatten und die Sonne für den östlichen Theil von Neu-Guinea und Neuholland bereits untergegangen war.

Ohne auf eine genauere Bestimmung des Weges, welchen der Kernschatten des Mondes auf der Erdoberfläche zurücklegte und der Grenzen einzugehen, innerhalb welcher die Finsterniss vom 4. April 1856 sichtbar war, ist aber doch aus dem bisher Gesagten mit Hülfe der Fig. 1 auf Tab. XI klar, dass die fragliche Sonnenfinsterniss überhaupt in Neuholland und den nördlich und östlich davon gelegenen Inseln sichtbar war, dass aber die Linie der centralen Verfinsterung Neuholland durchschnitt.

Da der Mondschatten auf der Erde von Westen nach Osten fortschreitet, so ist es klar, dass wir den Mond auf der Westseite der Sonnenscheibe ein-, auf der Ostseite derselben austreten sehen.

Wo eine Sonnenfinsterniss wirklich total wird, entsteht eine ganz eigenthümliche Dunkelheit, der Himmel erscheint grau und man erblickt einzelne der helleren Sterne. Die schwarze Mondscheibe ist von einer wallenden breiten Lichtung umgeben, von welcher aus sich gelbliche Strahlen verbreiten.

Von der totalen Sonnenfinsterniss, welche im August 1868 im südlichen Asien stattfand und von der eigenthümlichen Erscheinung des Strahlenkranzes, welche man während einer totalen Sonnenfinsterniss wahrnimmt, wird weiter unten noch ausführlicher die Rede sein.

77 **Die nächsten Sonnenfinsternisse.** Eine ringförmige Finsterniss findet am 6. April 1894 statt, die in dem grössten Theile von Asien theils ringförmig, theils partial erscheinen wird; und am 29. September 1894 ereignet sich eine totale Sonnenfinsterniss, welche als solche im Indischen Ocean und einem Theile der Südsee, dagegen als partiale Finsterniss im östlichen Afrika, Madagaskar und dem südlichen Australien wird beobachtet werden können.

Von drei partialen Sonnenfinsternissen im Jahre 1895 wird die erste (März 25.) in Norwegen, Grossbritannien, einem kleinen westlichen Theile von Frankreich und Spanien, sowie einem kleinen Theile des nordöstlichen Nordamerika, ferner in Grönland und Irland, — die zweite (August 20.) im nordwestlichen Asien und einem Theile von Russland, — und die dritte (September 18.) in der Südsee, Neuseeland und dem südöstlichen Australien sichtbar sein.

Am 13. Februar 1896 findet eine ringförmige Sonnenfinsterniss statt, welche in Patagonien und theilweise im südwestlichen Afrika partial gesehen werden wird; ferner eine totale Sonnenfinsterniss am 9. August,

welche in einem grossen Theile des nördlichen Asiens und theilweise im östlichen Europa wird beobachtet werden können.

Perioden der Finsternisse. Die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Vollmonden nennt man, wie schon oben §. 68 erwähnt wurde, einen synodischen Monat. Man erhält die mittlere Länge derselben mit grosser Schärfe, wenn man die Zwischenzeit zwischen zwei sehr weit von einander liegenden Vollmonden durch die Anzahl der Umläufe dividirt, welche der Mond unterdessen gemacht hat. Auf solche Weise hat man die mittlere Länge des synodischen Monats zu 29,53059 mittleren Tagen erhalten. Multipliciren wir diese Zahl mit 235, so erhalten wir 6939,69 mittlere Tage, und diese Zahl von Tagen ist sehr nahe gleich 19 Sonnenjahren ($19 \times 365{,}25 = 6939{,}75$). Es sind demnach 235 synodische Monate gleich 19 Sonnenjahren, und es müssen demnach nach je 19 Jahren die Mondviertel an denselben Jahrestagen wiederkehren. 78

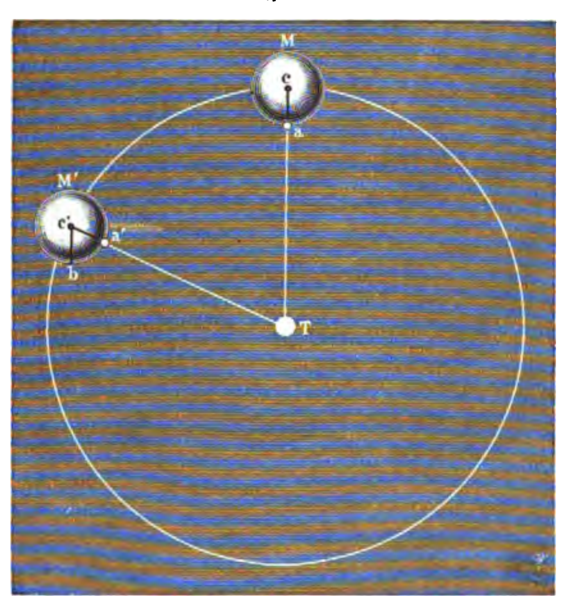
Es wurde schon oben (§. 70) bemerkt, dass die Knotenlinie des Mondes ihre Lage im Laufe der Zeit verändert; die Zeit von einem Durchgange des Mondes durch einen der beiden Knotenpunkte bis zum nächsten Durchgange durch denselben Knoten nennt man einen draconitischen oder Drachenmonat, und die Länge desselben ist gleich 27,21222 Tagen. Nun trifft nach je 242 draconitischen Monaten der Mond mit der Sonne in demselben Knotenpunkte der Mondbahn zusammen, so dass wir für die Finsternisse eine Periode von 242 draconitischen oder $242 \times \frac{27{,}21222}{29{,}53059} = 223$ synodischen Monaten erhalten. Es sind aber 223 synodische Monate gleich $223 \times 29{,}53059 = 6585\frac{1}{3}$ Tagen oder $= 18$ Jahren $10\frac{5}{6}$ Tagen, das Jahr zu $365\frac{1}{4}$ Tagen gerechnet. Diese Periode der Finsternisse, nach welcher sie sich nach je 223 Voll- oder Neumonden oder alle 18 Jahre 11 Tage wiederholen, war schon den alten Chaldäern, wahrscheinlich auch den Aegyptern und Chinesen bekannt, und mit dieser Kenntniss hängen jedenfalls die Nachrichten aus alten Zeiten über Vorhersagungen von Finsternissen zusammen.

Axendrehung des Mondes. Schon mit blossem Auge unterscheidet man auf der Mondscheibe Flecken, welche dem Monde eine bestimmte Zeichnung geben. Diese Zeichnung bleibt nun stets unverändert, d. h. die einzelnen Flecken behalten ihre Stellung auf der Mondoberfläche, geringe Schwankungen abgerechnet, unverändert bei; ein Flecken, welcher einmal in der Mitte der Scheibe liegt, wird uns immer an dieser Stelle erscheinen, er rückt nie an den Rand; bestimmte Flecken werden immer am westlichen, andere werden stets am östlichen Rande bleiben: kurz, der Mond wendet uns immer dieselbe Seite zu. 79

Es kommt uns also nur die eine Hälfte der Mondoberfläche zu Gesicht, die andere Hälfte bleibt uns stets unsichtbar.

Nach dieser Beobachtung lässt es sich nun leicht ausmitteln, wie es sich mit der Axendrehung des Mondes verhält. In Fig. 130 sei T die Erde, M die Stellung des Mondes in irgend einem beliebigen Augenblick. Wenn nun der Punkt a derjenige ist, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die Mitte der Mondscheibe bildet, so muss dieser Punkt in die Stellung a' kommen, während der Mond von M bis M' in seiner

Fig. 130.



Bahn fortschreitet, wenn stets derselbe Punkt die Mitte der von der Erde sichtbaren Mondhälfte bilden soll.

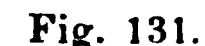
Fände während der fortschreitenden Bewegung des Mondes gar keine Axendrehung desselben statt, so müsste der Punkt a an die Stelle b gelangen, während der Mond von M bis M' fortschreitet, so dass derselbe Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage ca hatte, nun die parallele Richtung $c'b$ einnähme. Wir haben aber gesehen, dass der fragliche Radius jetzt, wo der Mond in M' angekommen ist, die Lage $c'a'$ hat; während also der Mond von M nach M' fortgeschritten ist, hat er sich um den Winkel $bc'a'$ gedreht, welcher offenbar dem Winkel $c\,T c'$ gleich ist.

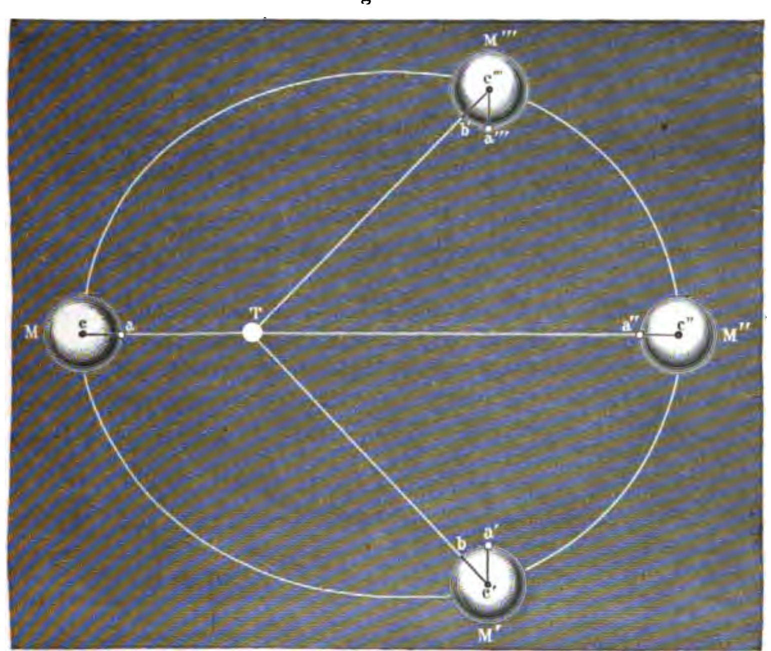
Aus der Thatsache, dass der Mond der Erde stets dieselbe Seite zuwendet, ergiebt sich also, dass er eine Axendrehung hat und dass er

die Umdrehung um seine Axe in derselben Zeit vollendet, in welcher er seine Bahn um die Erde zurücklegt, die Rotationsdauer des Mondes ist also seiner siderischen Revolution gleich.

Dieser langsamen Axendrehung entsprechend hat der Mond keine irgend wahrnehmbare Abplattung.

Libration des Mondes. Obgleich uns im Wesentlichen stets 80
dieselbe Mondhälfte zugekehrt ist, so finden doch kleine Schwankungen in der Stellung der Mondoberfläche gegen die Erde statt; bald sehen wir etwas weiter auf die Westseite, dann wieder etwas mehr auf die


Fig. 131.



Ostseite der Mondkugel; bald ist uns der Nordpol des Mondes und dann wieder der Südpol desselben etwas mehr zugewandt; kurz, der grösste Kreis, welcher die uns sichtbare Mondhälfte begrenzt, hat auf der Mondkugel keine absolut feste Lage, sondern er wird sowohl in der Richtung von Ost nach West, als auch in der Richtung von Nord nach Süd etwas hin und her geschoben. Man bezeichnet diese Erscheinung mit dem Namen der Libration.

Insofern die erwähnte Schwankung in der Ebene des Mondäquators stattfindet, so dass alle Längenkreise des Mondes für den Beschauer auf der Erde bald etwas mehr nach Osten, dann wieder etwas mehr nach Westen gedreht erscheinen, nennt man sie Libration der Länge,

während die rechtwinklig zum Mondäquator stattfindenden scheinbaren Schwankungen **Libration der Breite** genannt werden.

Die Libration der Länge rührt daher, dass der Mond sich in einer Ellipse um die Erde bewegt, während seine Axendrehung, sehr kleine Schwankungen abgerechnet, mit gleichförmiger Geschwindigkeit vor sich geht.

Fig. 131 (a. v. S.) stelle die elliptische Mondbahn dar, in deren einem Brennpunkte T die Erde steht. Zur Zeit des Perigäums steht der Mond in M, und a ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, gerade die Mitte der Mondscheibe einnimmt. Nachdem nun der vierte Theil der ganzen Umlaufszeit verflossen ist, befindet sich der Mond in M'; er hat aber unterdessen eine Drehung von 90° um seine Axe gemacht, der Mondhalbmesser, welcher vorher die Lage ca hatte, wird sich also jetzt in der Lage $c'a'$ befinden; dieser Radius ist aber jetzt nicht mehr derjenige, dessen Verlängerung gerade zur Erde hinführt, sondern b ist der Punkt, welcher, von der Erde aus gesehen, die Mitte der Mondscheibe einnimmt, die Mondoberfläche erscheint also gegen die Erde um den Winkel $b'c'a'$ nach Osten gedreht.

Ist der Mond im Apogäum, also in M'', angelangt, so ist, von dem Moment des Perigäums aus gerechnet, die Hälfte seiner ganzen Umlaufszeit verflossen, in dieser Zeit hat er aber eine Drehung von 180° um seine Axe gemacht, der Punkt a nimmt also wieder die Mitte der Mondscheibe ein, während derselbe Punkt sich in a''' befindet, also um den Winkel $bc'''a'''$ nach Westen gedreht erscheint, wenn der Mond nach M''' gelangt ist.

Die Libration der Länge (also der Winkel $bc'a'$ oder $b'c'''a'''$) kann bis zu 7° 53′ auf jeder Seite wachsen.

Wäre die Mondaxe genau rechtwinklig zur Mondbahn, so würden wir nur die Libration der Länge wahrnehmen; nun aber macht der Mondäquator mit der Ebene der Mondbahn einen Winkel, welcher im Mittel 6° 38′ beträgt, und so kommt es, dass die Mondpole nicht — wie es bei streng senkrechter Lage seiner Axe sein würde — im Rande erscheinen, sondern uns abwechselnd etwas zu- und abgewandt sind. Ist uns der Nordpol des Mondes zugewandt, so werden alle Flecken mehr nach Süden rücken; mehr nach Norden aber, wenn gerade der Südpol uns zugekehrt ist, und so ist also die Libration der Breite, welche im Maximo 6° 47′ beträgt, eine Folge von der schiefen Stellung der Mondaxe gegen seine Bahn.

Es ist klar, dass die Ansicht der Mondscheibe, von verschiedenen Orten der Erde aus gesehen, nicht genau dieselbe ist; die aus dieser Ursache stammenden Variationen werden **parallaktische Libration** genannt.

81 **Die Oberfläche des Mondes.** Mit unbewaffnetem Auge oder auch durch ein ganz schwach vergrösserndes Fernrohr betrachtet, erscheint

der Vollmond als eine weisse Scheibe, welche mit mehreren grauen Flecken bedeckt ist; man hielt früher diese dunkleren Stellen für Meere, die helleren für Land, und obgleich man sich später davon überzeugte, dass auf dem Monde keine Meere sind, so haben diese dunklen Partien doch ihre alten Namen beibehalten, und so findet man denn auf den Mondkarten noch immer ein Mare humorum, ein Mare nubium u. s. w.

Wenn man den Mond durch ein Fernrohr betrachtet, so beobachtet man unverkennbare Erhöhungen und Vertiefungen, kurz Berge, welche jedoch nur an solchen Stellen deutlich unterschieden werden können, welche an der Grenze der Lichtphasen liegen, also nur in denjenigen Mondgegenden, für welche die Sonne eben auf- oder untergeht. Die Gebirge werfen dann mehr oder minder lange Schatten, deren schwarze, oft haarscharf endende Gestalten einen überaus schönen Anblick gewähren, wie dies in der Figur auf Tab. XIX anschaulich gemacht ist. Mit dem Steigen der Sonne verändert sich die Scene; die Schatten werden kürzer und mit dem Verschwinden der letzten Schattenspur verliert sich die Schärfe der Umrisse, so dass bei voller Beleuchtung alle die Einzelheiten verschwinden, welche man an der Grenze zwischen der erleuchteten und der dunklen Hälfte wahrgenommen hatte. — Der Vollmond zeigt nur Differenzen des Lichtes und der Farbe. Den Haupteindruck gewähren die dunklen Flächen, welche schon dem unbewaffneten Auge sichtbar sind und in welchen sich, von einzelnen Bergen ausgehend, schmale Lichtstreifen verbreiten. Aber das unendliche Detail von Bergen, Hügeln und kleinen Kratern, welches zur Zeit der Phasen den Beobachter in Erstaunen setzte, ist auf dem Vollmonde fast ganz verschwunden.

Hevel hatte den Mondbergen die Namen irdischer Gebirge beigelegt, während Riccioli es vorzog, die Nomenclatur Hevel's zu verlassen, indem er die Mondberge nach berühmten Männern und namentlich nach Astronomen benannte. Diese Bezeichnung ist bis jetzt allgemein in Gebrauch geblieben und so finden wir denn auf unseren Mondkarten einen Archimedes, einen Kepler, Tycho, Manilius, Galilei u. s. w., während nur einige Bergketten die Namen irdischer Gebirge behalten haben.

Wendet man das Fernrohr auf eine gerade gut beleuchtete Gebirgslandschaft des Mondes, so fällt selbst dem ungeübtesten Beobachter das Vorherrschen kreisförmiger Gebilde auf, welche sich in Tausenden von Beispielen in grösserem und kleinerem Maassstabe wiederholen und mit dem gemeinschaftlichen Namen der Ringgebirge bezeichnet werden; in unserer Mondkarte Tab. XVII sind diese ringförmigen Bildungen deutlich zu erkennen.

Die grösseren Ringgebirge, deren Durchmesser oft über 200 km beträgt, nennt man Wallebenen. Es sind dies grössere, nahezu ebene Regionen, welche von einem sich mehr oder weniger der Kreisgestalt

nähernden Gebirgswall umschlossen sind. Dieser Gebirgswall erscheint aber vielfach zerklüftet und durch kleinere Krater unterbrochen, wie denn auch im Inneren dieser Wallebenen Hügel und kleine Krater auftreten.

Clavius und Maginus, welche auf Tab. XVII mit 13 und 22 bezeichnet sind, können als charakteristische Beispiele solcher Wallebenen dienen.

An diese Wallebenen schliessen sich in Betreff der Grössenverhältnisse zunächst die grossen Krater von 35 bis 90 km Durchmesser an, welche sich durch eine grössere Annäherung an die Kreisform und namentlich durch eine bedeutende Vertiefung des Beckens, welche sie mit den kleineren Kratern gemein haben, vor den Wallebenen auszeichnen. Der meist mauerartige Wall zeigt eine grosse Regelmässigkeit und ist selten durch kleinere Krater unterbrochen, nach innen aber mit doppelten bis fünffachen Terrassen besetzt. In der Mitte des Beckens erhebt sich meist ein einfacher Berg, der aber selten die Höhe des Walles erreicht.

Diese grösseren Krater sind auch noch durch grosse Helligkeit des oberen Saumes und oft durch ein Strahlensystem ausgezeichnet, welches sich von ihnen aus bis weit in die grauen Ebenen erstreckt. — Zu den grösseren Kratern dieser Classe gehören Tycho, Copernicus, Aristoteles u. s. w. Zu den kleineren Kepler, Aristarch, Manilius u. s. w.

Die kleinen Krater, deren Zahl auf der uns zugewandten Seite des Mondes auf 50 000 steigt, kommen ohne Ausnahme in allen Gegenden vor und erscheinen vielfach als Unterbrechung der grösseren Gebirgsformen, weshalb man sie als die jüngsten Mondgebilde betrachtet.

An diese Kraterbildungen schliessen sich die Rillen an, welche als schmale Furchen, als grabenartige, weit sich erstreckende Vertiefungen erscheinen. Die Rillen, nur durch die besten Fernrohre sichtbar, sind 30 bis 150 km lang, 600 bis 4000 m breit und 100 bis 400 m tief.

Obgleich die Ringgebirge auf dem Monde die vorherrschenden sind, so finden sich doch auch Bergmassen, welche ohne besondere Ordnung aufgethürmt erscheinen und die man Massen- oder Kettengebirge nennt. Diese Gebirge sind aber, wenn auch in ihrem Zuge eine bestimmte Richtung vorherrscht, sehr von den grossen Gebirgszügen der Erde verschieden, denn die Kettengebirge des Mondes erscheinen nur als unregelmässig zusammengestellte und aufgethürmte Berggipfel, an welchen wir Gebirgsthäler und Kämme im Sinne unserer irdischen Gebirge vergebens suchen.

Wenden wir uns endlich zu den schon flüchtig erwähnten Strahlensystemen des Mondes, welche sich von gewissen Punkten radienartig verbreitern und beim Vollmond in den grauen Ebenen besonders auffällig sind. Sie erscheinen im Gebirge in den Kratertiefen, in den grauen Ebenen nur als Modification der Bodenfarbe; sie ver-

schwinden in der Nähe der Lichtgrenze, ohne auch nur eine Spur eines Schattens zu zeigen, folglich sind sie weder Erhöhungen noch Vertiefungen.

Die Höhen der Mondgebirge kann man auf zweierlei Art ermitteln, entweder aus der Länge der Schatten oder, wenn ein erleuchteter Berggipfel ringsum noch von Nacht umgeben ist, aus dem Abstande des hellen Punktes von der allgemeinen Lichtgrenze. Auf diese Weise hat schon Galilei die Höhe einiger Mondberge ziemlich genau bestimmt. Nach den besten Messungen sind folgende die höchsten Kuppen der Massengebirge:

Dörfel	7500 m,
Apenninen	5500 „
Kaukasus	5500 „

Folgendes sind die Höhen einiger Ringgebirge:

Newton	7150 m,
Tycho	5200 „
Copernicus	3600 „
Aristarch	1950 „

Die Mondgebirge kommen also an Höhe den bedeutendsten Berggipfeln der Erde sehr nahe.

Die Schatten der Mondberge sind vollkommen schwarz, so dass man an den vom Schatten bedeckten Stellen auch nicht das allermindeste Detail zu erkennen im Stande ist. Wo also auf dem Monde die Sonnenstrahlen nicht unmittelbar hintreffen, ist absolute Nacht. Die allgemeine Tageshelle, welche in dem Schatten irdischer Gegenstände herrscht, fehlt auf dem Monde ebenso wie jede Spur von Dämmerung, woraus hervorgeht, dass der Mond keine Atmosphäre oder doch nur eine solche von sehr geringer Höhe und Dichtigkeit hat, dass auf der Mondoberfläche also auch kein Wasser vorhanden sein kann, welches sich bei dem sehr geringen Luftdrucke sehr rasch in Dampf auflösen und somit für sich schon eine Atmosphäre herstellen würde. Auf dem Monde ist demnach auch ein organisches Leben der Art, wie es auf der Erdoberfläche vorkommt, ganz unmöglich.

Es ist bereits §. 71, S. 185, bemerkt worden, dass das Verschwinden und Wiedererscheinen von Sternen, über welche der Mond gleichsam wegschreitet, ganz plötzlich ist, d. h. dass sie, ehe sie mit dem Mondrande in Berührung kommen oder nachdem sie denselben verlassen haben, keinerlei Ablenkung von der Stelle erfahren, an welcher man sie auch ohne die Annäherung des Mondes sehen würde. Auch diese Thatsache beweist, wenn nicht die gänzliche Abwesenheit einer Mondatmosphäre, so doch die sehr geringe Höhe und Dichtigkeit derselben.

82 **Darstellungen der Mondoberfläche.** Schon Galilei hat es versucht, eine bildliche Darstellung der Mondoberfläche zu geben, seine im Nuntius sidereus publicirten Mondbilder von ungefähr 7 cm Durchmesser sind aber ebenso wie die Scheiner'schen noch höchst unvollkommen. Die erste einigermaassen brauchbare Mondkarte brächte Hevel im Jahre 1643 zu Stande und veröffentlichte sie nebst 40 Phasenzeichnungen in seiner Selenographie. Hevel's Mondkarte blieb länger als 100 Jahre die beste. Erst Tob. Mayer in Göttingen gab eine kleine, aber höchst sorgfältig nach wirklichen Messungen gezeichnete Mondkarte heraus, welche wieder bis auf die neueren Zeiten die beste blieb. In seinen selenographischen Fragmenten (1791) gab Schröter zahlreiche Darstellungen einzelner Partien der Mondoberfläche, bei deren Aufnahme er aber nicht objectiv genug verfuhr, wodurch der Werth derselben wesentlich beeinträchtigt wurde.

Im Jahre 1824 erschienen vier Blätter einer von Lohrmann nach richtigen Principien aufgenommenen und gezeichneten Mondkarte, welche aber erst ein Neuntel der ganzen uns sichtbaren Mondoberfläche darstellten. Das Werk blieb unvollendet. Im Jahre 1838 erschien eine höchst werthvolle Lohrmann'sche Generalkarte des Mondes.

Im Jahre 1830 begannen Beer und Mädler eine nach Lohrmann's Plan, aber ausschliesslich auf eigene Beobachtungen gegründete Mondkarte anzufertigen, welche im Jahre 1836 in vier Blättern unter dem Titel Mappa selenographica erschien und das Vollendetste ist, was bis dahin in dieser Beziehung geleistet war. Der Durchmesser dieser, die feinsten Details zeigenden Mondkarte beträgt 3 Fuss.

Eine ausgezeichnete Mondkarte ist von Julius Schmidt, zuletzt in Athen, in den Jahren 1839 bis 1874 angefertigt und im Jahre 1878 auf Kosten des Preussischen Unterrichtsministeriums veröffentlicht worden. Sie ist aus 25 quadratischen Sectionen zusammengesetzt, und der Durchmesser des Mondes hat eine Grösse von 6 Pariser Fuss. Der Maassstab ist 1 : 1750000, und zwei Pariser Linien auf der Karte entsprechen einer wirklichen Entfernung auf der Mondoberfläche von einer geographischen Meile. Sehr gute Abbildungen der Mondoberfläche finden sich ferner in dem Werke: „Der Mond und die Beschaffenheit und Gestaltung seiner Oberfläche“, von Eduard Neison. Deutsch von H. J. Klein, Braunschweig 1878, sowie namentlich in dem Werke: „Der Mond, betrachtet als Planet, Welt und Trabant“, von J. Nasmyth und J. Carpenter. Deutsch von H. J. Klein. Leipzig 1876, aus dem die Tafeln XVII und XIX unseres Atlas entnommen sind.

Ein neues vortreffliches Mittel zur getreuen Darstellung der Mondoberfläche liefert die Photographie. Bereits im Jahre 1857 stellte Warren de la Rue eine Reihe vorzüglicher Mondphotographien her, von denen unter anderen eine Collection von 12 allerliebsten Phasenbildern durch Smith, Beck und Beck in London veröffentlicht wurde. Obgleich in diesen kleinen Bildern der Durchmesser des Mondes nur

$4^1/_2$ cm beträgt, so sind doch einzelne Krater und Ringgebirge mit überraschender Schärfe und Deutlichkeit erkennbar. Von wissenschaftlichem Werthe können aber nur grössere Phasenbilder dieser Art sein, deren Warren de la Rue gleichfalls mehrere ausgeführt hat, von denen nur zu wünschen wäre, dass sie durch den Buchhandel leichter zugänglich gemacht würden.

Eine ganz ausgezeichnete Photographie des Mondes ist diejenige, welche Rutherfurd in New-York am 6. März 1865 drei Tage nach dem ersten Viertel aufnahm. Der Mond erscheint in diesem Bilde in einem Durchmesser von 53 cm; in ausgezeichneter Schärfe zeigt es die Ringgebirge in der Nähe der Lichtgrenze, so namentlich Plato, Archimedes, Aristippus und Autolykus, Eratosthenes, Copernicus, Ptolemäus, Alphons, Tycho und andere.

Der Durchmesser des Plato ist auf diesem Bilde 15 mm, der des Archimedes ist 12, der des Copernicus ist 14 mm lang. Der innere Flächenraum des Plato ist noch ganz dunkel, während das ihn umfassende Ringgebirge, namentlich aber der innere östliche Abfall desselben, hell erleuchtet ist. Copernicus liegt noch grösstentheils im Schatten, nur ein Theil des inneren östlichen Abhanges ist hell erleuchtet, weniger hell sind einige Partien der westlichen Wallhälfte. Jenseits der Lichtgrenze sind noch vielfach einzelne Lichtpunkte und Lichtstreifen sichtbar.

Von diesem schönen Mondbilde hat Photograph Vollenweider in Bern eine etwas verkleinerte, sehr gelungene photographische Copie gemacht (Monddurchmesser 39 cm), deren Verlag die Dalp'sche Buchhandlung (Schmid) in Bern übernommen hat.

Um eine Mondlandschaft aus photographischen Abbildungen genau kennen zu lernen, sind mehrere bei verschiedener Beleuchtung aufgenommene Bilder derselben nothwendig.

Astronomische Photographien können nur mit Hülfe eines grossen, parallaktisch aufgestellten und durch ein gleichförmig gehendes Uhrwerk gedrehten Fernrohrs gemacht werden. Schraubt man von einem solchen Instrumente das Ocular ab, so erhält man im Brennpunkte des achromatischen Objectivs ein Mondbild, dessen Durchmesser ungefähr $^1/_{120}$ von der Brennweite des Objectivs ist, welches also fast $2^1/_2$ cm Durchmesser hat, wenn die Brennweite des Objectivs 3 m beträgt. Ein gewöhnliches achromatisches Objectiv giebt keine ganz scharfe photographische Bilder. Für die Anfertigung scharfer Photographien ist es nothwendig, das Objectiv so zu berechnen, dass es ohne Berücksichtigung der optisch wirksamsten Strahlen möglichst gleiche Brennweite für die verschiedenen chemisch wirksamen Strahlen giebt.

Mit Hülfe eines solchen Objectivs wird nun zunächst ein negatives Glasbild hergestellt, welches so feine Details enthält, dass es eine namhafte Vergrösserung verträgt. — Ein solches negatives Original wird nun als Object in einen Apparat eingesetzt, welcher nach dem Principe

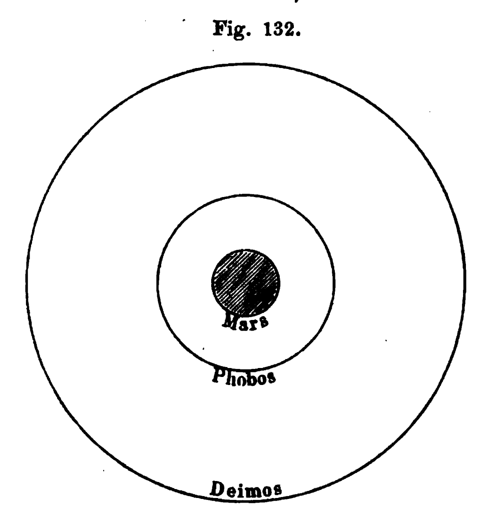
der Laterna magica in möglichster optischer Vollkommenheit construirt ist. Von Sonnenlicht oder von elektrischem Lichte beleuchtet, wird das kleine negative Mondbild mit 10- bis 14 maliger linearer Vergrösserung auf eine photographisch präparirte Glasplatte projicirt, auf welcher auf diese Weise ein grosses positives Bild erzeugt wird. — Von diesem grossen positiven Glasbilde wird nun zunächst wieder eine gleich grosse negative Copie hergestellt, welche dann in der gewöhnlichen Weise dient, um positive Copien auf Papier zu machen.

Mit Hülfe von Mondphotographien wird man vielleicht dereinst auch entscheiden können, ob auf der Mondoberfläche wirklich gegenwärtig noch Veränderungen vor sich gehen. Aeltere Beobachtungen, nach welchen noch thätige Vulcane auf dem Monde vorkommen sollen, scheinen auf Täuschungen zu beruhen.

Lohrmann, Beer und Mädler versichern, niemals eine wirkliche Veränderung auf der Mondscheibe beobachtet zu haben. Im October 1866 glaubte Schmidt in Athen die Wahrnehmung zu machen, dass der früher deutlich als ein sehr tiefer Krater wahrnehmbare Linné im mare serenitatis diese Kratergestalt gegenwärtig nicht mehr zeigt. Aehnliche Behauptungen sind auch seitdem von anderen Seiten aufgestellt, aber noch nicht unumstösslich bewiesen.

83 **Die Trabanten des Mars.** Bis zum Jahre 1877 waren die Astronomen der Ansicht, dass Mars zu den Planeten ohne Trabanten gehöre, da selbst bei sehr günstigen Oppositionen stets vergeblich nach solchen gesucht worden war. Im August 1877 wurde aber von A. Hall in Washington, der den Planeten mit dem grossen Refractor der dortigen Marinesternwarte untersuchte, die überall das grösste Aufsehen erregende Entdeckung gemacht, dass Mars von zwei Monden umkreist wird. Die Umstände für diese Entdeckung waren deshalb besonders günstig, weil der Planet sich der Erde besonders nahe befand, und das von Hall benutzte Fernrohr alle bis dahin gebauten an optischer Kraft übertraf. Seitdem hat man aber die Monde auch mit weit kleineren Instrumenten beobachten können, weil die Sichtbarkeit solcher kleinen Objecte erleichtert wird, wenn man ihren genäherten Ort schon kennt.

Fig. 132.

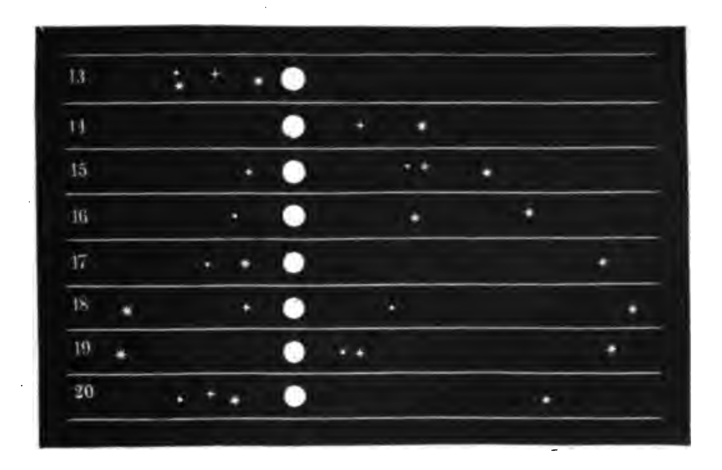


In Fig. 132 sind Mars und die Bahnen seiner beiden Monde, denen man die Namen Phobos und Deimos gegeben hat, im richtigen Verhältniss ihrer Grössen gezeichnet. Der Halbmesser des Mars beträgt 3385, und die mittleren Entfernungen der Monde vom Marsmittelpunkte resp. 9300 und 23 315 km. Die Monde sind in ihrer Helligkeit gleich Sternen der 12. Grösse, und nimmt man ihre lichtreflectirende Kraft gleich der des Mars an, so finden sich ihre Durchmesser zu höchstens 10 km.

Deimos bewegt sich in 30 Stunden 17 Minuten 54,4^s, Phobos in 7 Stunden 39 Minuten 13,9^s um den Hauptplaneten, und da die Zeit der Rotation dieses letzteren um seine Axe 24 Stunden 37 Minuten beträgt, so trifft hier der merkwürdige Fall ein, dass Phobos für einen Beobachter auf dem Mars im Westen aufgeht und im Osten untergeht.

Die Trabanten des Jupiter. Wenn man den Jupiter durch ein Fernrohr von mässiger Vergrösserung betrachtet, so sieht man, dass 84

Fig. 133.



er von vier kleinen Sternchen begleitet ist, welche nahezu in einer geraden Linie aufgestellt erscheinen. Schon nach einigen Stunden lässt sich eine Veränderung in der gegenseitigen Stellung dieser Sternchen wahrnehmen. Fig. 133 stellt den Jupiter mit seinen Trabanten dar, wie er sich vom 13. bis 20. März 1872 Abends um 10 Uhr zeigte, und zwar bezeichnet das achtseitige Sternchen den 3., das sechsseitige den 4., das Pünktchen den zweiten und das vierseitige Sternchen den 1. Trabanten. Am 14. März stand der 2. und 4. Trabant hinter dem Jupiter. Der 1. Trabant befand sich zu der bezeichneten Stunde am 16. gerade vor, am 17. gerade hinter dem Jupiter.

Aus einer genaueren Beobachtung der Jupitertrabanten ergiebt sich nun, dass sie in Ellipsen von sehr geringer Excentricität um den Planeten

herumlaufen; die Ebene dieser Bahnen fällt beinahe mit der Ebene des Jupiteräquators zusammen und deshalb erscheinen sie uns fast ganz zur Linie verkürzt und wir sehen die einzelnen Trabanten in dieser Linie bald von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost fortschreiten.

Am 9. September 1892 entdeckte **Barnard** auf der Sternwarte der Mount Hamilton einen fünften Jupitermond, welcher nur eine Umlaufszeit von $11^h\ 57^m\ 20^s$ hat, und bedeutend lichtschwächer ist, als die vier früher bekannten.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Entfernung der Jupitertrabanten vom Mittelpunkte des Planeten in Jupiterhalbmessern und Kilometern ausgedrückt nebst ihrer Umlaufszeit.

	Abstände		Umlaufszeit
	in Jupiter-halbmessern	in km	
1. Satellit	2,5	180 000	0,498 Tage
2. „	5,93	420 000	1,769 „
3. „	9,44	669 000	3,551 „
4. „	15,06	1 067 000	7,155 „
5. „	26,49	1 877 000	16,689 „

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Jupitertrabanten ebenso wie die Trabanten der übrigen Planeten das dritte **Kepler**'sche Gesetz befolgen, dass sich nämlich die Quadrate ihrer Umlaufszeiten verhalten, wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände vom Jupiter. Ebenso befolgen sie auch die beiden ersten **Kepler**'schen Gesetze.

Fig. 134.

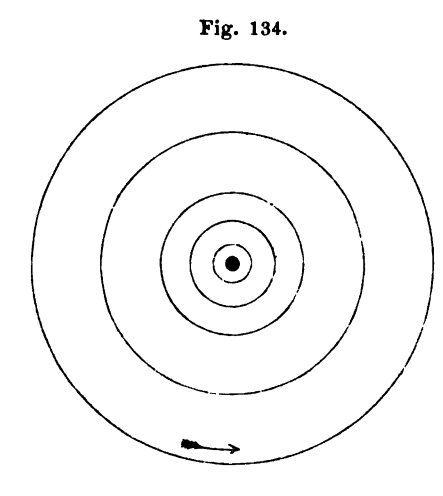


Fig. 134 stellt den Jupiter mit den Bahnen seiner Trabanten in richtigem Grössenverhältniss dar.

Von der Erde aus gesehen sind die mittleren scheinbaren Durchmesser der vier älteren Jupitermonde:

II. 1,0″ IV. 1,5″
III. 0,9″ V. 1,3″,

die wahren Durchmesser sind:

II. 4070 km, IV. 5790 km,
III. 3480 „ V. 4830 „

Das Ansehen dieser vier älteren Trabanten ist ungefähr das von Sternen sechster Grösse, man würde sie also wahrscheinlich mit blossem Auge wahrnehmen können, wenn sie nicht durch die Nähe ihres glänzenden Planeten unsichtbar blieben.

An den Bahnen der drei inneren Trabanten kann man keine Abweichung von der Kreisgestalt nachweisen, die Bahnen der beiden äusseren zeigen aber eine geringe Excentricität. Die Neigung der Bahnen gegen die Ebene der Jupiterbahn ist zwischen ein und zwei Graden.

Da der Durchmesser des Jupiter sehr gross ist und die Trabanten ihm verhältnissmässig sehr nahe stehen, da ferner die Neigung ihrer Bahn gegen die Bahn desselben sehr gering ist, so ereignet sich bei jedem Umlauf dieser Monde eine Sonnen- und eine Mondfinsterniss. Nur der fünfte geht manchmal über oder unter dem Jupiterschatten vorbei, sowie denn auch sein Schatten manchmal nördlich oder südlich vom Jupiter an demselben vorübergeht.

Mit guten Fernrohren sieht man den Schatten, welchen die vier grösseren Trabanten auf den Jupiter werfen, als einen schwarzen Punkt über denselben hingehen. Mit weit geringeren Instrumenten aber kann man schon das Verschwinden und Wiedererscheinen der Jupitertrabanten beobachten, wenn sie in den Schatten ihres Planeten ein- oder austreten.

Um diese interessante Erscheinung anschaulicher zu machen, ist in Fig. 135 und 136 (a. f. S.) dieselbe dargestellt, wie sie sich in den Monaten Juni und December des Jahres 1861 gezeigt hat.

Im Juni 1861, zwischen der am 10. Februar stattgefundenen Opposition und der am 30. August stattgefundenen Conjunction des Jupiter mit der Sonne lag der Schatten dieses Planeten von der Erde aus gesehen östlich von demselben; Ein- und Austritt der Trabanten in den Schatten des Jupiter konnte man also in dieser Zeit nur auf der Ostseite der Jupiterscheibe wahrnehmen.

Auf der jenseitigen Hälfte ihrer Bahn bewegen sich die Trabanten in der Richtung von West nach Ost, sie werden also am Westrande des Jupiter verschwinden. Der zweite Trabant tritt in den Schatten ein, während er sich noch hinter der Jupiterscheibe befindet und wird erst bei *e* (Nr. II, Fig. 135) wieder sichtbar, wenn er aus dem Schatten austritt.

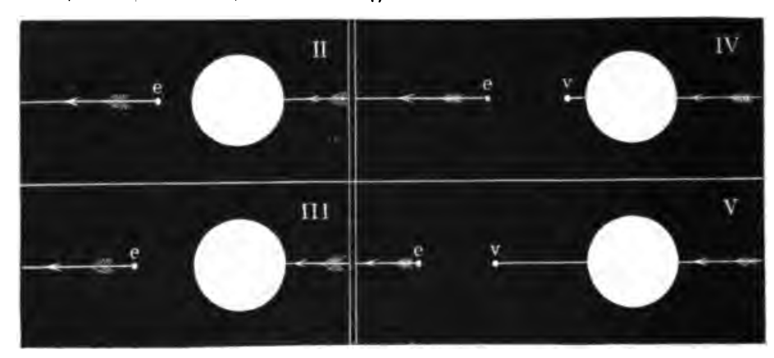
Für den dritten Trabanten ist die Erscheinung ganz die gleiche, nur ist die Stelle *e* (Nr. III, Fig. 135), wo der Trabant wieder erscheint, etwas weiter vom Planeten entfernt.

Der vierte Trabant wird sogleich wieder sichtbar, wenn er am Ostrande der Jupiterscheibe vortritt (Nr. IV, Fig. 135); erst bei *v* verschwindet er, in den Schatten eintretend, aus dem er bei *e* wieder austritt.

Auch für den fünften Trabanten kann man den Eintritt in den Schatten und den Austritt aus demselben beobachten, nur ist die Stelle des Verschwindens *v* und die Stelle des Wiedererscheinens bei *e* weiter vom Jupiter entfernt, als für den vierten Trabanten, wie Fig. 135, Nr. V, zeigt.

Je mehr Jupiter sich der Conjunction mit der Sonne nähert, desto mehr verkürzt sich, von der Erde aus gesehen, der Schatten desselben, desto näher rücken also auch die Stellen des Verschwindens und Wieder-

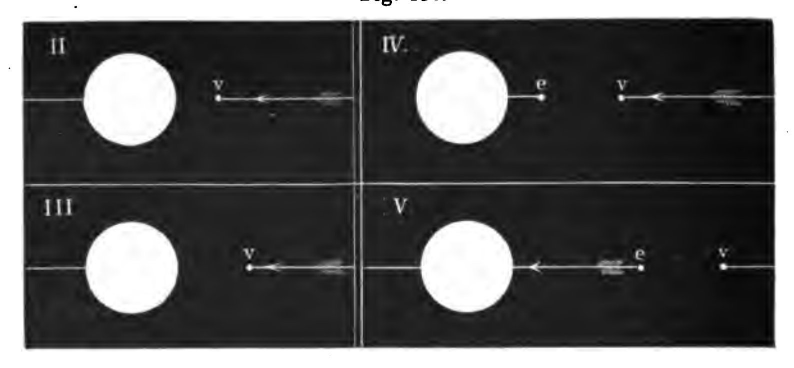
Fig. 135.



erscheinens der Trabanten der Jupiterscheibe; so war denn für den vierten Trabanten im Juli 1861 der Eintritt in den Schatten nicht mehr sichtbar.

Nach der Conjunction liegt der Schatten des Jupiter, von der Erde aus gesehen, auf der Westseite des Planeten; die Trabanten werden also

Fig. 136.



auf der Westseite der Jupiterscheibe im Schatten verschwinden, ehe sie den Westrand des Planeten erreichen, wie dies Fig. 136 erläutert, welche die Erscheinung für den December 1861 darstellt.

In der Zeit von ♃ ☌ ☉ bis ♃ ☍ ☉ kann man von der Erde aus alle Eintritte der Trabanten in den Jupiterschatten, von ♃ ☍ ☉ bis ♃ ☌ ☉ dagegen alle Austritte der Monde aus diesem Schatten wahrnehmen. Da die Verfinsterungen der Jupitertrabanten sehr häufig vorkommen, so können sie sehr gut als himmlische Signale für Längenbestimmungen auf der Erde benutzt werden. Manche astronomischen

Ephemeriden, z. B. der Englische Nautical Almanac, enthalten die vorausberechneten Momente der von der Erde aus sichtbaren Ein- und Austritte der Jupitertrabanten nach der Zeit des Meridians der Sternwarte, auf welche sich die Ephemeriden beziehen.

Durch die sorgfältige Beobachtung der Verfinsterungen der Jupitertrabanten gelang es dem dänischen Astronomen Römer im Jahre 1765, die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Es wird davon im folgenden Buche ausführlicher die Rede sein.

Die Trabanten der äussersten Planeten. Sowohl Saturn 85
als auch Uranus sind von Satelliten umkreist, und man hat auch bereits einen Trabanten des Neptun entdeckt.

Die Trabanten des Saturn sind weit schwieriger sichtbar als die vier grösseren Jupitermonde. Während letztere sogleich nach Erfindung der Fernrohre entdeckt wurden, wurde der hellste der Saturntrabanten erst im Jahre 1655 von Huyghens aufgefunden.

Bis jetzt kennt man acht Saturntrabanten. Der von Huyghens entdeckte ist, vom Saturn an gerechnet, der sechste. Cassini entdeckte den siebenten, fünften, vierten und dritten von 1671 bis 1687. Den ersten und zweiten entdeckte Herschel mit seinem Riesenteleskope in den Jahren 1788 und 1789.

Nur der sechste Trabant (dessen Abstand vom Saturn 20,5 Halbmesser dieses Planeten und dessen Umlaufszeit 15,9 Tage beträgt) ist ziemlich leicht sichtbar; die übrigen können nur durch Fernrohre von starker optischer Kraft wahrgenommen werden. Die beiden innersten Trabanten wurden erst lange Zeit nach ihrer Entdeckung durch Herschel wieder von Anderen gesehen, und zwar der zweite von Lamont im Sommer 1836, der erste von den Astronomen des Collegio Romano im Juni 1838. Die Entfernung des ersten Trabanten vom Mittelpunkte des Saturn beträgt 3,11, die des zweiten beträgt 3,99 Halbmesser des Saturn.

Der achte Mond des Saturn wurde im Jahre 1848 fast gleichzeitig von Bond in Nordamerika und von Lassel in England beobachtet. Seine Entfernung vom Mittelpunkte des Saturn beträgt 59,6 Halbmesser des letzteren.

Während die Bahnebenen der übrigen Saturntrabanten nicht stark von der Ebene des Ringes abweichen, beträgt die mittlere Neigung der Bahn des siebenten Trabanten gegen die Ringebene über 21 Grad.

Da Uranus selbst nur ein teleskopischer Planet ist, so ist wohl begreiflich, dass seine Satelliten sehr schwer sichtbar sind. Es sind bis jetzt vier Satelliten aufgefunden worden, deren mittlere Entfernungen vom Centrum des Uranus resp. 7,7, 10,8, 17,6 und 23,6 Uranushalbmesser betragen. Dieselben haben die Eigenthümlichkeit, dass ihre Bahnebenen beinahe senkrecht gegen die Uranusbahn stehen, woraus man, da bei den anderen Planeten die Bahnebenen der Satelliten sehr nahe mit der

Ebene des Aequators der Planeten zusammenfallen, schliessen kann, dass auch der Aequator des Uranus nahezu senkrecht gegen die Bahnebene steht. Die Richtung der Bewegung der Satelliten ist sogar in geringem Grade rückläufig, so dass die von dem Hauptplaneten aus gesehenen Längen derselben abnehmen, was mit Ausnahme der Kometen und des gleich zu erwähnenden Trabanten des Neptun bei keinem anderen Körper des Sonnensystems der Fall ist.

Bis jetzt ist erst ein Trabant des Neptun beobachtet worden, der eine Umlaufszeit von ungefähr 5,9 Tagen hat. Seine mittlere Entfernung vom Neptun ist 14,54 Neptunhalbmesser, und seine Bahnebene 35^0 gegen die Ekliptik geneigt. Er ist ebenfalls rückläufig, und demnach vermuthlich auch die Axendrehung des Neptun selbst.

Sechstes Capitel.

Die Kometen und Meteorite.

Eigenthümlichkeiten der Kometen. Ausser den Planeten giebt es noch eine grosse Anzahl anderer Gestirne, welche sich gleichfalls um die Sonne bewegen, sich aber von denselben sowohl durch ihr Ansehen als auch durch die Natur ihrer Bahnen wesentlich unterscheiden, nämlich die Kometen. Mit diesem Namen, den wir durch Haarsterne übersetzen können, bezeichnete man schon im Alterthum solche Gestirne, welche, durch einen mehr oder minder grossen Schweif ausgezeichnet, unvermuthet am Himmel erscheinen und, nachdem sie einen von den Planetenbahnen meist sehr abweichenden Weg unter den Fixsternen zurückgelegt haben, wieder verschwinden. 86

Der Aberglaube sah in den Kometen Vorboten von Krieg, Pest, Hungersnoth und von sonstigen Uebeln aller Art. Die Ungereimtheit einer solchen Meinung trat in dem Maasse deutlicher hervor, als man das Wesen der Kometen näher kennen lernte und nachzuweisen im Stande war, dass ihre Bahnen denselben Bewegungsgesetzen folgen, wie die Planetenbahnen. Dass die Erscheinung der Kometen ebenso wenig mit den Schicksalen des Menschengeschlechts oder einzelner Individuen zusammenhängt, wie die Constellationen der Planeten, bedarf wohl keines weiteren Beweises; dass aber die Kometen auch keinen Einfluss auf den Gang der Erscheinungen in unserer Atmosphäre haben, dass sie namentlich nicht auf die Witterungsverhältnisse influiren, musste man einsehen, sobald man ihre kosmische Natur erkannt hatte.

Die grösseren Kometen zeigen meist einen hellen rundlichen Kern, welcher von einer schwächer leuchtenden nebligen Hülle umgeben ist, die sich auf einer Seite, und zwar in der Regel auf der der Sonne abgewandten, in einen Schweif verlängert. Dieser Schweif erscheint uns manchmal unter einem Winkel von 60 bis 90, ja bis 100°, so dass er über einen bedeutenden Theil des Himmelsgewölbes wegzieht, wie man

Fig. 137.

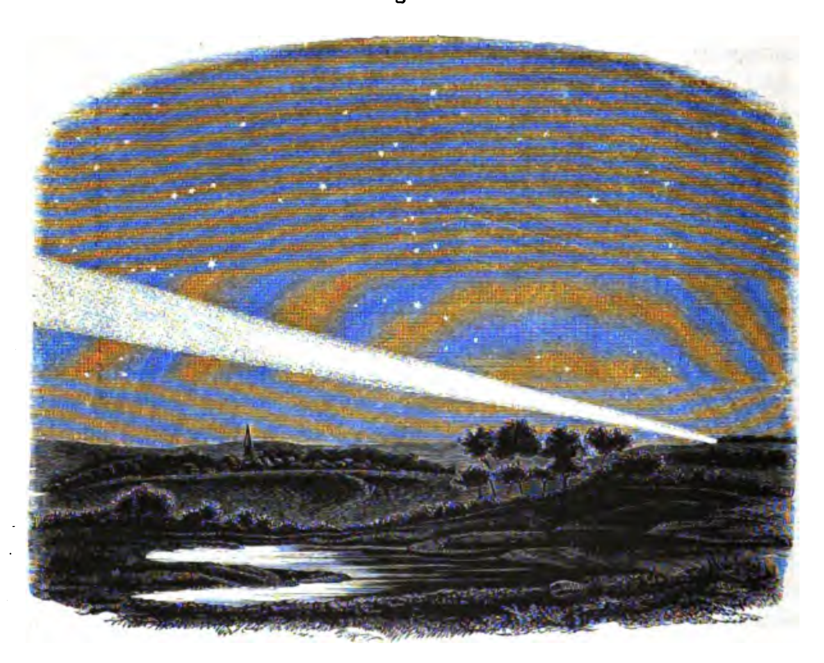
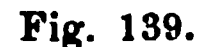


Fig. 138.



dies aus Fig. 137 und Fig. 138 ersieht. Die letztere stellt den Kometen von 1618 nach einer Abbildung im Theatrum europaeum, die erstere den Kometen von 1843 nach einer im ersten Jahrgange der Illustrirten


Fig. 139.


Komet von 1811.

Zeitung befindlichen Abbildung dar, und zwar sammt der landschaftlichen Umgebung, wodurch man leicht einen Maassstab für die Grösse der Erscheinung erhält.

Der Kometenschweif ist bald mehr, bald weniger gekrümmt, wie dies z. B. der schöne Komet von 1811 zeigt, welcher Fig. 139 dar-

Fig. 140.


1819

gestellt ist; fast immer aber erstreckt er sich vom Kopf aus nach der von der Sonne abgewendeten Seite hin.

Manchmal fehlt der Kern ganz, wie z. B. bei dem Kometen, der im Jahre 1819 beobachtet wurde (Fig. 140).

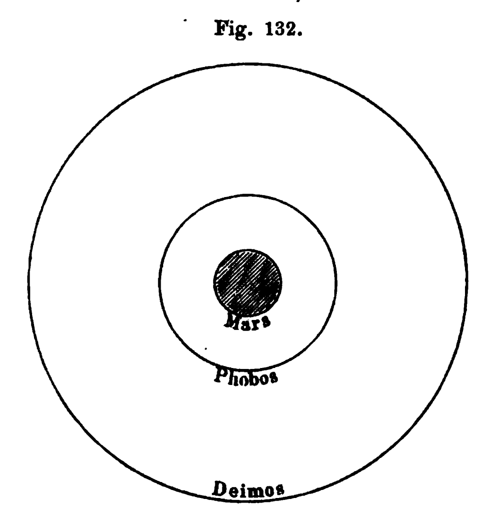
der Laterna magica in möglichster optischer Vollkommenheit construirt ist. Von Sonnenlicht oder von elektrischem Lichte beleuchtet, wird das kleine negative Mondbild mit 10- bis 14 maliger linearer Vergrösserung auf eine photographisch präparirte Glasplatte projicirt, auf welcher auf diese Weise ein grosses positives Bild erzeugt wird. — Von diesem grossen positiven Glasbilde wird nun zunächst wieder eine gleich grosse negative Copie hergestellt, welche dann in der gewöhnlichen Weise dient, um positive Copien auf Papier zu machen.

Mit Hülfe von Mondphotographien wird man vielleicht dereinst auch entscheiden können, ob auf der Mondoberfläche wirklich gegenwärtig noch Veränderungen vor sich gehen. Aeltere Beobachtungen, nach welchen noch thätige Vulcane auf dem Monde vorkommen sollen, scheinen auf Täuschungen zu beruhen.

Lohrmann, Beer und Mädler versichern, niemals eine wirkliche Veränderung auf der Mondscheibe beobachtet zu haben. Im October 1866 glaubte Schmidt in Athen die Wahrnehmung zu machen, dass der früher deutlich als ein sehr tiefer Krater wahrnehmbare Linné im mare serenitatis diese Kratergestalt gegenwärtig nicht mehr zeigt. Aehnliche Behauptungen sind auch seitdem von anderen Seiten aufgestellt, aber noch nicht unumstösslich bewiesen.

83 **Die Trabanten des Mars.** Bis zum Jahre 1877 waren die Astronomen der Ansicht, dass Mars zu den Planeten ohne Trabanten gehöre, da selbst bei sehr günstigen Oppositionen stets vergeblich nach solchen gesucht worden war. Im August 1877 wurde aber von A. Hall in Washington, der den Planeten mit dem grossen Refractor der dortigen Marinesternwarte untersuchte, die überall das grösste Aufsehen erregende Entdeckung gemacht, dass Mars von zwei Monden umkreist wird. Die Umstände für diese Entdeckung waren deshalb besonders günstig, weil der Planet sich der Erde besonders nahe befand, und das von Hall benutzte Fernrohr alle bis dahin gebauten an optischer Kraft übertraf. Seitdem hat man aber die Monde auch mit weit kleineren Instrumenten beobachten können, weil die Sichtbarkeit solcher kleinen Objecte erleichtert wird, wenn man ihren genäherten Ort schon kennt.

Fig. 132.

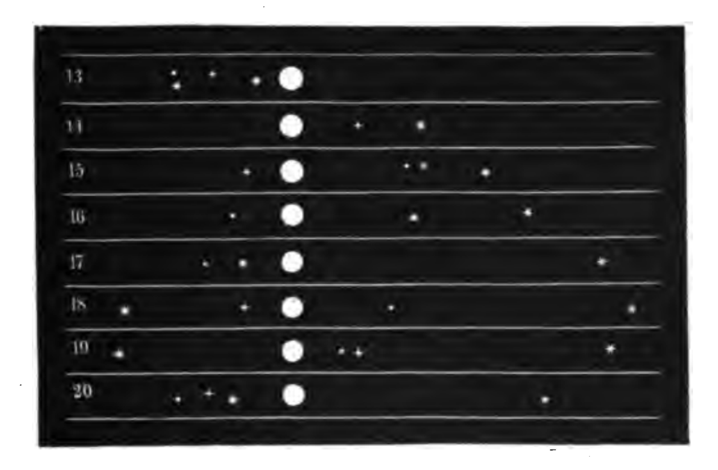


In Fig. 132 sind Mars und die Bahnen seiner beiden Monde, denen man die Namen Phobos und Deimos gegeben hat, im richtigen Verhältniss ihrer Grössen gezeichnet. Der Halbmesser des Mars beträgt 3385, und die mittleren Entfernungen der Monde vom Marsmittelpunkte resp. 9300 und 23315 km. Die Monde sind in ihrer Helligkeit gleich Sternen der 12. Grösse, und nimmt man ihre lichtreflectirende Kraft gleich der des Mars an, so finden sich ihre Durchmesser zu höchstens 10 km.

Deimos bewegt sich in 30 Stunden 17 Minuten 54,4^s, Phobos in 7 Stunden 39 Minuten 13,9^s um den Hauptplaneten, und da die Zeit der Rotation dieses letzteren um seine Axe 24 Stunden 37 Minuten beträgt, so trifft hier der merkwürdige Fall ein, dass Phobos für einen Beobachter auf dem Mars im Westen aufgeht und im Osten untergeht.

Die Trabanten des Jupiter. Wenn man den Jupiter durch ein Fernrohr von mässiger Vergrösserung betrachtet, so sieht man, dass 84

Fig. 133.



er von vier kleinen Sternchen begleitet ist, welche nahezu in einer geraden Linie aufgestellt erscheinen. Schon nach einigen Stunden lässt sich eine Veränderung in der gegenseitigen Stellung dieser Sternchen wahrnehmen. Fig. 133 stellt den Jupiter mit seinen Trabanten dar, wie er sich vom 13. bis 20. März 1872 Abends um 10 Uhr zeigte, und zwar bezeichnet das achtseitige Sternchen den 3., das sechsseitige den 4., das Pünktchen den zweiten und das vierseitige Sternchen den 1. Trabanten. Am 14. März stand der 2. und 4. Trabant hinter dem Jupiter. Der 1. Trabant befand sich zu der bezeichneten Stunde am 16. gerade vor, am 17. gerade hinter dem Jupiter.

Aus einer genaueren Beobachtung der Jupitertrabanten ergiebt sich nun, dass sie in Ellipsen von sehr geringer Excentricität um den Planeten

herumlaufen; die Ebene dieser Bahnen fällt beinahe mit der Ebene des Jupiteräquators zusammen und deshalb erscheinen sie uns fast ganz zur Linie verkürzt und wir sehen die einzelnen Trabanten in dieser Linie bald von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost fortschreiten.

Am 9. September 1892 entdeckte Barnard auf der Sternwarte der Mount Hamilton einen fünften Jupitermond, welcher nur eine Umlaufszeit von $11^h\ 57^m\ 20^s$ hat, und bedeutend lichtschwächer ist, als die vier früher bekannten.

Die folgende Tabelle giebt die mittlere Entfernung der Jupitertrabanten vom Mittelpunkte des Planeten in Jupiterhalbmessern und Kilometern ausgedrückt nebst ihrer Umlaufszeit.

	Abstände		Umlaufszeit
	in Jupiterhalbmessern	in km	
1. Satellit	2,5	180 000	0,498 Tage
2. „	5,93	420 000	1,769 „
3. „	9,44	669 000	3,551 „
4. „	15,06	1 067 000	7,155 „
5. „	26,49	1 877 000	16,689 „

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Jupitertrabanten ebenso wie die Trabanten der übrigen Planeten das dritte Kepler'sche Gesetz befolgen, dass sich nämlich die Quadrate ihrer Umlaufszeiten verhalten, wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände vom Jupiter. Ebenso befolgen sie auch die beiden ersten Kepler'schen Gesetze.

Fig. 134.

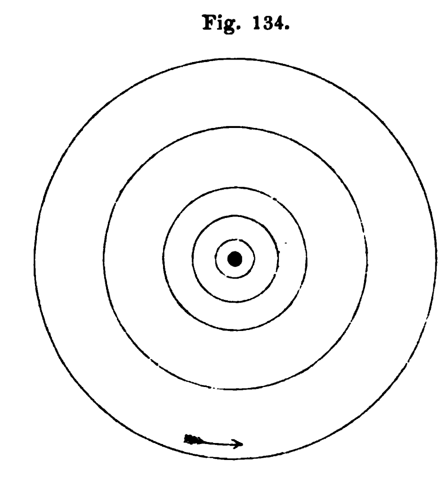


Fig. 134 stellt den Jupiter mit den Bahnen seiner Trabanten in richtigem Grössenverhältniss dar.

Von der Erde aus gesehen sind die mittleren scheinbaren Durchmesser der vier älteren Jupitermonde:

II. 1,0″ IV. 1,5″
III. 0,9″ V. 1,3″,

die wahren Durchmesser sind:

II. 4070 km, IV. 5790 km,
III. 3430 „ V. 4830 „

Das Ansehen dieser vier älteren Trabanten ist ungefähr das von Sternen sechster Grösse, man würde sie also wahrscheinlich mit blossem Auge wahrnehmen können, wenn sie nicht durch die Nähe ihres glänzenden Planeten unsichtbar blieben.

An den Bahnen der drei inneren Trabanten kann man keine Abweichung von der Kreisgestalt nachweisen, die Bahnen der beiden äusseren zeigen aber eine geringe Excentricität. Die Neigung der Bahnen gegen die Ebene der Jupiterbahn ist zwischen ein und zwei Graden.

Da der Durchmesser des Jupiter sehr gross ist und die Trabanten ihm verhältnissmässig sehr nahe stehen, da ferner die Neigung ihrer Bahn gegen die Bahn desselben sehr gering ist, so ereignet sich bei jedem Umlauf dieser Monde eine Sonnen- und eine Mondfinsterniss. Nur der fünfte geht manchmal über oder unter dem Jupiterschatten vorbei, sowie denn auch sein Schatten manchmal nördlich oder südlich vom Jupiter an demselben vorübergeht.

Mit guten Fernrohren sieht man den Schatten, welchen die vier grösseren Trabanten auf den Jupiter werfen, als einen schwarzen Punkt über denselben hingehen. Mit weit geringeren Instrumenten aber kann man schon das Verschwinden und Wiedererscheinen der Jupitertrabanten beobachten, wenn sie in den Schatten ihres Planeten ein- oder austreten.

Um diese interessante Erscheinung anschaulicher zu machen, ist in Fig. 135 und 136 (a. f. S.) dieselbe dargestellt, wie sie sich in den Monaten Juni und December des Jahres 1861 gezeigt hat.

Im Juni 1861, zwischen der am 10. Februar stattgefundenen Opposition und der am 30. August stattgefundenen Conjunction des Jupiter mit der Sonne lag der Schatten dieses Planeten von der Erde aus gesehen östlich von demselben; Ein- und Austritt der Trabanten in den Schatten des Jupiter konnte man also in dieser Zeit nur auf der Ostseite der Jupiterscheibe wahrnehmen.

Auf der jenseitigen Hälfte ihrer Bahn bewegen sich die Trabanten in der Richtung von West nach Ost, sie werden also am Westrande des Jupiter verschwinden. Der zweite Trabant tritt in den Schatten ein, während er sich noch hinter der Jupiterscheibe befindet und wird erst bei *e* (Nr. II, Fig. 135) wieder sichtbar, wenn er aus dem Schatten austritt.

Für den dritten Trabanten ist die Erscheinung ganz die gleiche, nur ist die Stelle *e* (Nr. III, Fig. 135), wo der Trabant wieder erscheint, etwas weiter vom Planeten entfernt.

Der vierte Trabant wird sogleich wieder sichtbar, wenn er am Ostrande der Jupiterscheibe vortritt (Nr. IV, Fig. 135); erst bei *v* verschwindet er, in den Schatten eintretend, aus dem er bei *e* wieder austritt.

Auch für den fünften Trabanten kann man den Eintritt in den Schatten und den Austritt aus demselben beobachten, nur ist die Stelle des Verschwindens *v* und die Stelle des Wiedererscheinens bei *e* weiter vom Jupiter entfernt, als für den vierten Trabanten, wie Fig. 135, Nr. V, zeigt.

An diesem Tage war die geocentrische Länge des Kerns ungefähr 277°, seine nördliche Breite aber 7,5°. Er durchlief nun die Sternbilder des Adlers, des Delphins, des Pegasus, der Andromeda, des Triangels, und verschwand am 18. März 1681 in der Nähe des Sternes ζ des Perseus. Am 4. Februar war seine geocentrische Länge 39° bei einer nördlichen Breite von etwas über 19°. Man kann nach diesen Angaben die Bahn des fraglichen Kometen auf den Sternkarten Tab. III und Tab. IV verfolgen.

In Fig. 144 (a. v. S.) ist die scheinbare Bahn des Donati'schen Kometen vom 12. September bis zum 14. October eingetragen. Der Kopf desselben durchlief, nachdem er das Sternbild des grossen Bären (von welchem unsere Karte nur ein kleines Stück enthält) verlassen hatte, die Grenzlinie zwischen dem Sternbilde der Jagdhunde und dem des Haares der Berenice; trat dann in das Sternbild des Bootes ein und gelangte endlich durch einen Theil des Sternbildes der Schlange in das Sternbild des Scorpions.

In unserer Figur ist der Schweif nach Lage und Grösse für mehrere Beobachtungsabende möglichst genau eingetragen; auf demselben Kärtchen findet man aber auch ein Stück der Ekliptik, auf welchem der Stand der Sonne für den 27. September, den 8. und 14. October bezeichnet ist. Verbindet man diese Sonnenörter mit den gleichzeitigen Kometenörtern durch gerade Linien, so findet man, dass in der That der Schweif des Kometen stets von der Sonne abgewendet war.

88 **Wahre Gestalt der Kometenbahnen.** Lange Zeit suchte man vergebens nach einer den scheinbaren Lauf der Kometen genügend erklärenden Theorie. Erst Dörfel, ein Prediger zu Plauen im Voigtlande, stellte, durch die Erscheinung des grossen Kometen von 1680 und 1681 veranlasst, die Meinung auf: die Bahn der Kometen sei eine Parabel, in deren Brennpunkte der Mittelpunkt der Sonne liege. Durch Newton's neues Weltsystem fand alsbald Dörfel's Meinung ihre Bestätigung und genauere Bestimmung.

Auf Tab. XX ist die parabolische Bahn des Kometen von 1680 und 1681 dargestellt. Mit Hülfe dieser Figur wird man sich überzeugen können, dass die parabolische Hypothese den oben beschriebenen scheinbaren Lauf des Kometen genügend erklärt (natürlich nur in Beziehung auf die Veränderungen in der Länge; um die Veränderungen in der Breite nachzuweisen, müsste man noch die Neigung der parabolischen Bahn in Betracht ziehen, wozu, wenn es durch Zeichnung geschehen sollte, noch eine weitere Figur nöthig wäre).

Als der Komet am 17. December 1680 durch sein Perihelium ging, war er nur noch 950 000 km von dem Mittelpunkte und nur 240 000 km von der Oberfläche der Sonne entfernt. In dieser ungemeinen Nähe musste, von ihm aus gesehen, die Sonne als eine Scheibe von 96° Durchmesser erscheinen.

Ephemeriden, z. B. der Englische Nautical Almanac, enthalten die vorausberechneten Momente der von der Erde aus sichtbaren Ein- und Austritte der Jupitertrabanten nach der Zeit des Meridians der Sternwarte, auf welche sich die Ephemeriden beziehen.

Durch die sorgfältige Beobachtung der Verfinsterungen der Jupitertrabanten gelang es dem dänischen Astronomen Römer im Jahre 1765, die Geschwindigkeit des Lichtes zu messen. Es wird davon im folgenden Buche ausführlicher die Rede sein.

Die Trabanten der äussersten Planeten. Sowohl Saturn als auch Uranus sind von Satelliten umkreist, und man hat auch bereits einen Trabanten des Neptun entdeckt. 85

Die Trabanten des Saturn sind weit schwieriger sichtbar als die vier grösseren Jupitermonde. Während letztere sogleich nach Erfindung der Fernrohre entdeckt wurden, wurde der hellste der Saturntrabanten erst im Jahre 1655 von Huyghens aufgefunden.

Bis jetzt kennt man acht Saturntrabanten. Der von Huyghens entdeckte ist, vom Saturn an gerechnet, der sechste. Cassini entdeckte den siebenten, fünften, vierten und dritten von 1671 bis 1687. Den ersten und zweiten entdeckte Herschel mit seinem Riesenteleskope in den Jahren 1788 und 1789.

Nur der sechste Trabant (dessen Abstand vom Saturn 20,5 Halbmesser dieses Planeten und dessen Umlaufszeit 15,9 Tage beträgt) ist ziemlich leicht sichtbar; die übrigen können nur durch Fernrohre von starker optischer Kraft wahrgenommen werden. Die beiden innersten Trabanten wurden erst lange Zeit nach ihrer Entdeckung durch Herschel wieder von Anderen gesehen, und zwar der zweite von Lamont im Sommer 1836, der erste von den Astronomen des Collegio Romano im Juni 1838. Die Entfernung des ersten Trabanten vom Mittelpunkte des Saturn beträgt 3,11, die des zweiten beträgt 3,99 Halbmesser des Saturn.

Der achte Mond des Saturn wurde im Jahre 1848 fast gleichzeitig von Bond in Nordamerika und von Lassel in England beobachtet. Seine Entfernung vom Mittelpunkte des Saturn beträgt 59,6 Halbmesser des letzteren.

Während die Bahnebenen der übrigen Saturntrabanten nicht stark von der Ebene des Ringes abweichen, beträgt die mittlere Neigung der Bahn des siebenten Trabanten gegen die Ringebene über 21 Grad.

Da Uranus selbst nur ein teleskopischer Planet ist, so ist wohl begreiflich, dass seine Satelliten sehr schwer sichtbar sind. Es sind bis jetzt vier Satelliten aufgefunden worden, deren mittlere Entfernungen vom Centrum des Uranus resp. 7,7, 10,8, 17,6 und 23,6 Uranushalbmesser betragen. Dieselben haben die Eigenthümlichkeit, dass ihre Bahnebenen beinahe senkrecht gegen die Uranusbahn stehen, woraus man, da bei den anderen Planeten die Bahnebenen der Satelliten sehr nahe mit der

Ebene des Aequators der Planeten zusammenfallen, schliessen kann, dass auch der Aequator des Uranus nahezu senkrecht gegen die Bahnebene steht. Die Richtung der Bewegung der Satelliten ist sogar in geringem Grade rückläufig, so dass die von dem Hauptplaneten aus gesehenen Längen derselben abnehmen, was mit Ausnahme der Kometen und des gleich zu erwähnenden Trabanten des Neptun bei keinem anderen Körper des Sonnensystems der Fall ist.

Bis jetzt ist erst ein Trabant des Neptun beobachtet worden, der eine Umlaufszeit von ungefähr 5,9 Tagen hat. Seine mittlere Entfernung vom Neptun ist 14,54 Neptunhalbmesser, und seine Bahnebene 35^0 gegen die Ekliptik geneigt. Er ist ebenfalls rückläufig, und demnach vermuthlich auch die Axendrehung des Neptun selbst.

Sechstes Capitel.

Die Kometen und Meteorite.

Eigenthümlichkeiten der Kometen. Ausser den Planeten 86 giebt es noch eine grosse Anzahl anderer Gestirne, welche sich gleichfalls um die Sonne bewegen, sich aber von denselben sowohl durch ihr Ansehen als auch durch die Natur ihrer Bahnen wesentlich unterscheiden, nämlich die Kometen. Mit diesem Namen, den wir durch Haarsterne übersetzen können, bezeichnete man schon im Alterthum solche Gestirne, welche, durch einen mehr oder minder grossen Schweif ausgezeichnet, unvermuthet am Himmel erscheinen und, nachdem sie einen von den Planetenbahnen meist sehr abweichenden Weg unter den Fixsternen zurückgelegt haben, wieder verschwinden.

Der Aberglaube sah in den Kometen Vorboten von Krieg, Pest, Hungersnoth und von sonstigen Uebeln aller Art. Die Ungereimtheit einer solchen Meinung trat in dem Maasse deutlicher hervor, als man das Wesen der Kometen näher kennen lernte und nachzuweisen im Stande war, dass ihre Bahnen denselben Bewegungsgesetzen folgen, wie die Planetenbahnen. Dass die Erscheinung der Kometen ebenso wenig mit den Schicksalen des Menschengeschlechts oder einzelner Individuen zusammenhängt, wie die Constellationen der Planeten, bedarf wohl keines weiteren Beweises; dass aber die Kometen auch keinen Einfluss auf den Gang der Erscheinungen in unserer Atmosphäre haben, dass sie namentlich nicht auf die Witterungsverhältnisse influiren, musste man einsehen, sobald man ihre kosmische Natur erkannt hatte.

Die grösseren Kometen zeigen meist einen hellen rundlichen Kern, welcher von einer schwächer leuchtenden nebligen Hülle umgeben ist, die sich auf einer Seite, und zwar in der Regel auf der der Sonne abgewandten, in einen Schweif verlängert. Dieser Schweif erscheint uns manchmal unter einem Winkel von 60 bis 90, ja bis 100^0, so dass er über einen bedeutenden Theil des Himmelsgewölbes wegzieht, wie man

immer noch 0,035 Erdweiten betragen. Aus späteren Beobachtungen des Schweifes ergab sich aber, dass er an derjenigen Stelle, wo er die Erdbahn schnitt, nur einen Durchmesser von 0,0076 Erdweiten hatte, die Erde konnte mithin nicht in den Schweif eintreten, wenn sie auch ziemlich nahe an demselben vorbeiging.

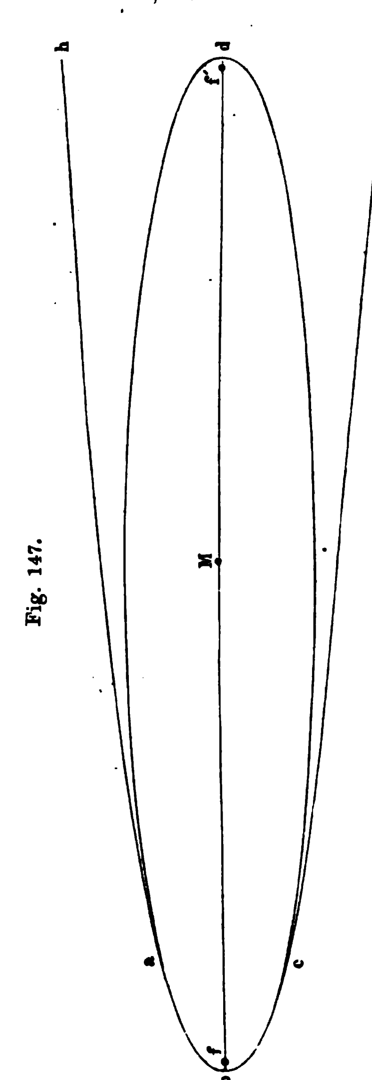


Fig. 147.

Die Bahn eines Kometen kann möglicherweise eine Hyperbel, oder eine Parabel, oder endlich eine Ellipse sein. Bewegt sich der Komet in einer der beiden erstgenannten Curven, so kann er uns überhaupt nur einmal erscheinen; er kommt gewissermaassen aus unendlicher Ferne, um nach einiger Zeit unser Sonnensystem auf immer wieder zu verlassen. Ein Komet kann nur dann wieder in die Sonnennähe zurückkehren, wenn seine Bahn eine elliptische ist.

Der Umstand, dass der beobachtete Lauf der Kometen sich in der Regel sehr gut durch eine parabolische Bahn darstellen lässt, schliesst die Möglichkeit nicht aus, dass er sich wirklich in einer langgestreckten Ellipse bewegt; denn eine Parabel und eine sehr stark excentrische Ellipse, welche einen gemeinschaftlichen Brennpunkt f, Fig. 147, und einen gemeinschaftlichen Scheitelpunkt b haben, fallen in der Nähe dieses Scheitelpunktes, welcher dem Perihelium entspricht, sehr nahe zusammen. So kann in der That das Bogenstück abc, Fig. 147, ebenso gut ein Stück der Parabel $habck$ als auch ein Stück der Ellipse $abcd$ sein. Die Kometen sind uns aber gerade nur in der Nähe des Periheliums sichtbar.

In den meisten Fällen genügt die parabolische Bahn den Beobachtungen und man behält sie dann bei, weil ihre Berechnung ungleich einfacher ist als die einer elliptischen Bahn.

Berechnet man aus den beobachteten Kometenorten eine elliptische Bahn, so wird man begreiflicher Weise in Betreff einiger Bahnelemente keine grosse Genauigkeit zu erwarten haben; namentlich ist dies für die Länge der grossen Axe und die Umlaufszeit der Fall.

Encke hat nach den zuverlässigsten Beobachtungen des Kometen von 1680 und 1681 eine elliptische Bahn desselben berechnet. Dieser Rechnung zufolge würde er im Aphelium ungefähr 853 Erdweiten, also 126 000 Millionen Kilometer weit von der Sonne entfernt sein. Sein Abstand im Aphelium wäre also 140 000 mal grösser als der im Perihelium. Als wahrscheinliche Umlaufszeit ergab sich ungefähr 8800 Jahre.

Mag nun die Kometenbahn eine parabolische oder eine elliptische sein, so findet auch hier das zweite Kepler'sche Gesetz seine volle Anwendung, d. h. die Geschwindigkeit des Kometen in seiner Bahn ist stets eine solche, dass der von der Sonne zum Kometen gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurücklegt. Die Geschwindigkeit des Kometen ist also am grössten, während er das Perihelium passirt.

Für den Kometen von 1680 und 1681 ergiebt sich aus Encke's Rechnungen, dass er im Perihelium 390 km, im Aphelium aber nur 3 m in der Secunde zurücklegt. Im Aphelium ist also seine Geschwindigkeit ungefähr 130 000 mal geringer als im Perihelium.

Nach den Berechnungen von Bruhns sind die elliptischen Elemente des Donati'schen Kometen

☊	165° 19′
i	63° 1,7′
ω	230° 54′
q	0,482 Erdweiten
Halbe grosse Axe (a)	164 Erdweiten
Umlaufszeit	2101,6 Jahre.

Auwers berechnete die elliptischen Elemente des Kometen II von 1861 wie folgt:

☊	278° 58′
i	85° 29′
ω	330° 9′
T	11,5 Juni
q	0,822 Erdweiten
a	71,2 Erdweiten
Umlaufszeit	601 Jahre.

Wiederkehrende Kometen. Halley, ein Zeitgenosse Newton's, bemerkte, dass die Elemente der Bahn des schönen Kometen von 1682 fast genau dieselben seien, wie die der Kometen von 1607 und 1531. 89

Folgendes sind die fraglichen Elemente:

Komet von	Länge ☊	Neigung der Bahn	Länge des Periheliums	Abstand des Periheliums von ☉
1531	49° 25′	17° 56′	301° 39′	0,57 Erdweiten
1607	50 21	17 2	302 16	0,58 „
1682	50 48	17 42	301 36	0,58 „

Alle drei waren rückläufig. Er wurde dadurch auf den Gedanken geleitet, dass es wohl ein und derselbe Komet sei, welcher in den drei genannten Jahren erschienen war, und der eine Umlaufszeit von 75 bis 76 Jahren habe. Er kündigte seine Wiederkehr auf das Ende des Jahres 1758 oder den Anfang des Jahres 1759 an, und in der That ging er am 12. März 1759 wieder durchs Perihelium.

Eine abermalige, voraus angekündigte Erscheinung des Halley'schen Kometen fand im Jahre 1835 statt, wo er am 16. November das Perihelium passirte.

Die erste durch astronomische Beobachtungen hinlänglich constatirte Erscheinung des Halley'schen Kometen ist die von 1456.

Die halbe grosse Axe der Bahn des Halley'schen Kometen beträgt ungefähr 19 Erdweiten; in seinem Aphelium, welches er im Jahre 1873 passirt hat, und welches noch ausserhalb der Neptunbahn liegt, ist er ungefähr 37,4 Erdweiten von der Sonne entfernt. Seine Periheldistanz beträgt nur 0,58 Erdweiten, in seiner Sonnennähe geht er also zwischen den Bahnen des Mercur und der Venus hindurch.

Im Jahre 1456 erreichte der Schweif des Halley'schen Kometen eine Länge von 60 Graden, und ebenso zeigte er im Jahre 1531 einen schönen Schweif. Im Jahre 1607 dagegen erschien er nicht besonders glänzend und namentlich war sein Schweif sehr klein, was wohl daran lag, dass er der Erde schon lange Zeit vor seinem Perihelium wieder verschwand. Im Jahre 1682 erschien er wieder mit starkem Glanze, obgleich er dem Kometen von 1680 nicht gleich kam.

Im Jahre 1759 konnte der Halley'sche Komet nur eine kurze Zeit mit blossem Auge gesehen werden. An Glanz stand er diesmal der Erscheinung von 1682 nach, aber nicht in Beziehung auf die Länge des Schweifes, welche bis auf 47° stieg.

Die Erscheinung des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 war ziemlich unscheinbar und befriedigte die Erwartungen des grösseren Publicums keineswegs. Von dem kleinen Kern, welcher etwa 200 km im Durchmesser haben mochte, ging eine fächerartige, gegen die Sonne gerichtete Flamme aus, welche sich aber zu beiden Seiten zurückkrümmte

und so allmählich in den Schweif überzugehen schien. Wir werden darauf später wieder zurückkommen.

Die nächste Erscheinung des Halley'schen Kometen wird im Jahre 1911 stattfinden.

Ein zweiter, jedoch meist nur teleskopischer Komet, dessen Umlaufszeit bekannt ist und welcher den Namen seines Berechners führt, ist der Encke'sche Komet; er wurde im November 1818 von Pons in Marseille entdeckt. Encke erkannte, als er nach den beobachteten Oertern eine Bahn berechnete, dass er mit den in den Jahren 1786, 1795 und 1805 beobachteten identisch sein müsse. Die Umlaufszeit dieses Kometen beträgt nur 1208 Tage. Sein kleinster Abstand von der Sonne beträgt 0,33, sein grösster 4,07 Erdweiten. Die Neigung seiner Bahn gegen die Ekliptik ist 13°; die Länge des aufsteigenden Knotens 335°, die Länge des Periheliums 157°. Der Encke'sche Komet hat eine kugelförmige Gestalt ohne merklichen Schweif.

Der Encke'sche Komet ist dadurch besonders merkwürdig, dass seine Umlaufszeit nach Encke's Untersuchungen allmählich abzunehmen schien, indem der Komet bei jeder neuen Revolution während der Jahre 1825 bis 1852 (neun Umlaufsperioden) ungefähr um $2^1/_2$ Stunden früher das Perihel erreichte, als er nach der Rechnung, unter alleiniger Berücksichtigung der Anziehungen durch die Sonne und Planeten, hätte thun sollen. Encke suchte diese Erscheinung durch die schon von Olbers aufgestellte Hypothese zu erklären, dass der Weltraum mit einem feinen, der Bewegung widerstehenden Medium erfüllt sei. Die Verkürzung der Umlaufszeit hat sich nach den Untersuchungen von v. Asten und Backlund auch bei späteren Umläufen zuweilen, aber durchaus nicht immer gezeigt, so hat sie sich z. B. bei den beiden Umläufen zwischen den Jahren 1865 bis 1871 nicht nachweisen lassen. Dieser Umstand spricht sehr gegen die von Encke verfochtene Hypothese, gegen welche schon Bessel einwandte, dass sie zwar die Verkürzung der Umlaufszeit erkläre, aber nur eine von vielen Ursachen sei, die alle dieselbe Wirkung hervorrufen können. In der That zeigen die Kometen, wie weiter unten gezeigt werden wird, in ihrem äusseren Ansehen manche Erscheinungen, welche darauf hindeuten, dass nicht allein die Gravitationskraft auf die Bewegung der einzelnen Theile der Kometen wirkt, sondern noch andere Kräfte in ihnen thätig sind, welche sehr wohl auch die Bewegung des Kerns der Kometen beeinflussen können. Bei zwei anderen periodischen Kometen, dem Faye'schen und Winnecke'schen, hat man eine Zeit lang ebenfalls Verkürzungen der Umlaufszeit nachweisen zu können geglaubt, genauere Untersuchungen, die von Möller und v. Härdtl darüber angestellt sind, haben indessen in dieser Richtung ein durchaus negatives Resultat ergeben.

Einer der interessantesten periodischen Kometen ist der Biela'sche. Derselbe ist mit blossem Auge nicht sichtbar; im Fernrohre erscheint

er als rundlicher Nebel, dessen Durchmesser im Jahre 1805 nach Olbers 10,6 Erdradien betrug.

Dieser Komet war bereits in den Jahren 1772 und 1805 beobachtet worden. Bei seinem Wiedererscheinen im Februar 1826 erkannte Biela seine Periodicität. Bei seinem Wiedererscheinen im December 1845 beobachtete zuerst Maury zu Washington, dass sich der Komet in zwei getheilt hatte. Bei ihrem Durchgange durchs Perihel am 11. Februar 1846 betrug der Abstand der beiden Kometen 300 000 km. Beide Zwillingskometen erschienen als geschweifte Gestirne.

Die beiden Theilkometen kehrten der Rechnung gemäss im Herbst 1852 zum Perihel zurück, ihr Abstand war aber bis auf 2 600 000 km gewachsen. Im Jahre 1859 konnten sie wegen ihrer Lage zur Sonne nicht beobachtet werden. Eine sichtbare Wiederkehr war im Winter 1865/66 zu erwarten, trotz der eifrigsten, auf mehreren Sternwarten angestellten Beobachtungen konnte aber das Doppelgestirn nicht wieder aufgefunden werden; der Biela'sche Komet schien verschwunden zu sein. Wir werden weiter unten sehen, zu welcher Erscheinung er im Jahre 1872 Veranlassung gab.

Tab. XXI zeigt die auf die Ebene der Ekliptik projicirten Bahnen des Encke'schen und Biela'schen Kometen und ein Stück der Bahn des Halley'schen. Das Aphel des letzteren liegt, wie schon oben erwähnt, noch jenseits der Neptunbahn.

Die beiden innersten, um die Sonne gezogenen Kreise auf Tab. XXI entsprechen den Bahnen des Mercur und der Venus.

Der Faye'sche Komet wurde im November 1843 von Faye als eine schweiflose Nebelmasse mit einem hellen Kerne entdeckt und die Elemente seiner Bahn von Möller berechnet. Seine Wiederkehr wurde in den Jahren 1851, 1858, 1873, 1880 und zuletzt im Jahre 1888 beobachtet. Die Umlaufszeit des Faye'schen Kometen beträgt 7,4 Jahre.

Brorsen's Komet wurde im Februar 1846 als teleskopische kern- und schweiflose Nebelmasse entdeckt. Aus den gemachten Beobachtungen ergab sich eine Umlaufszeit von 5,5 Jahren. Bei seiner Rückkehr im Jahre 1851 wurde der Komet nicht aufgefunden; dagegen wurde er in den Jahren 1857, 1868, 1873 und 1879 beobachtet.

Ein von d'Arrest im Juni 1851 entdeckter kleiner Komet, dessen Bahn sich nach den Beobachtungen als elliptisch herausstellte, wurde bei seinen Wiedererscheinungen in den Jahren 1857, 1870, 1877 und 1890 abermals beobachtet; seine Umlaufszeit beträgt $6^2/_3$ Jahre.

Der Tuttle'sche Komet des Jahres 1858 wurde bald nach seiner Entdeckung als ein periodischer Komet erkannt und seine Identität mit dem zweiten Kometen des Jahres 1790 nachgewiesen. Seit 1790 hat dieser Komet unbemerkt fünf Umläufe von 13,6 Jahren gemacht. Tischler und Clausen haben die Elemente seiner Bahn berechnet,

Bezeichnung des Kometen	Letzte Erscheinung	Länge des Perihels	Länge des aufst. Knotens	Neigung der Bahn	Umlaufszeit in Jahren	Kürzeste Entfernung von der Sonne (in Erdbahnhalbm.)	Grösste Entfernung von der Sonne (in Erdbahnhalbm.)	Richtung der Bewegung	Excentricität
Halley	1835	304°32′	55°10′	17°45′	76,4	0,59	35,41	R	0,967
De Vico	1846	90 27	77 33	85 6	75,7	0,66	34,40	D	0,962
Olbers	1887	149 46	84 30	44 34	72,6	1,20	33,62	D	0,931
Pons	1884	93 17	254 6	74 3	71,6	0,78	33.40	D	0,955
Westphal	1852	43 14	346 10	40 55	60,7	1,25	29,61	D	0,919
Coggia	1867	75 52	78 36	18 13	33,6 ?	1,57	19,26	D	0,849 ?
Tempel	1866	60 28	231 26	17 18	33,2	0,98	19,68	R	0,905
Tuttle	1885	116 29	269 42	54 20	13,8	1.03	10,48	D	0,821
Brooks	1889	356 45	18 53	6 1	7,8	1,50	4,44	D	0,495
Faye	1888	50 49	209 35	11 20	7,6	1,74	5,97	D	0,549
Holmes	1892	345 53	331 42	20 47	6,9	2,14	5,12	D	0,410
Finlay	1886	7 34	52 30	3 2	6,7	1,00	6,08	D	0,718
Biela *a*	1852	109 5	245 50	12 33	6,6	0,86	6,17	D	0,755
Biela *b*	1852	108 58	245 58	12 34	6,6	0,86	6,20	D	0,755
d'Arrest	1890	319 15	146 17	15 43	6,6	1,32	5,76	D	0,627
Wolf	1884	19 3	206 22	25 15	6,5	1,57	5,57	D	0,560
Brooks	1886	229 46	53 3	12 56	6,3	1,34	5,49	D	0,608
Tempel I	1879	238 11	78 46	9 47	6,0	1,77	4,82	D	0,463
Winnecke	1886	276 43	111 31	11 17	5,7	0,83	5,57	D	0,741
Tempel III	1880	43 0	296 42	5 31	5,5	1,07	5,16	D	0,65[illegible]
De Vico	1844	342 31	63 50	2 55	5,5	1,19	5,01	D	0,617
Brorsen	1879	116 15	101 19	29 23	5,5	0,59	5,61	D	0,810
Barnard	1884	306 11	5 9	5 28	5,4	1,28	4,87	D	0,584
Tempel II	1878	306 8	121 1	12 46	5,2	1,35	4,67	D	0,552
Encke	1888	158 36	334 39	12 53	3,3	0,34	4,10	D	0,845

In der Columne „Richtung der Bewegung“ bezeichnet D (Direct), dass der Komet sich in derselben, und R (Retrograd), dass er sich in entgegengesetzter Richtung bewegt wie die Planeten.

vermöge deren er am 12. October 1871 von Borrelly in Marseille aufgefunden wurde. Später ist er nach den Rechnungen von Rahts im Jahre 1885 wieder aufgefunden und einige Wochen hindurch beobachtet worden.

Winnecke entdeckte im März 1858 einen Kometen, dessen Elemente er nahe übereinstimmend mit denen des Kometen III von 1819 fand, wonach derselbe ein wiederkehrender Komet von ungefähr $5^1/_2$ Jahren Umlaufszeit ist. Im Jahre 1869, wo sein Periheldurchgang am 30. Juni stattfand, wurde er abermals von Winnecke als ein blasser verwaschener Nebel von 6 bis 8 Minuten Durchmesser beobachtet, der nach der Mitte merklich heller wurde. Ferner ist er in den Jahren 1875 und 1886 beobachtet. Die Periheldistanz dieses rechtläufigen Kometen ist 0,78, seine halbe grosse Axe ist 3,15 Erdweiten.

In der auf voriger Seite stehenden Tabelle sind die Elemente der bis jetzt bekannten periodischen Kometen mit kürzerer Umlaufszeit (unter 100 Jahren) angegeben.

Zunächst zeigt sich aus dieser Tabelle, dass die grosse Mehrzahl der periodischen Kometen eine directe Bewegung und eine geringe Neigung der Bahn hat. Die Excentricität ist durchweg grösser als bei den Planeten, bei denen sie im Maximum (Planet Aethra) bis zu 0,383 geht; indessen ist es natürlich nicht ausgeschlossen, dass es viele Kometen von geringerer Excentricität der Bahn giebt, die aber stets zu weit von der Erde entfernt bleiben, um beobachtet werden zu können. So ist z. B. nachweislich die Bahn des Wolf'schen Kometen vom Jahre 1884 vor dem Jahre 1875 sehr wenig excentrisch gewesen (Excentricität = 0,276), und dann durch eine grosse Annäherung des Kometen an den Jupiter in die obige Form gebracht. Die geringste Excentricität unter allen bekannten Kometenbahnen hat diejenige des Kometen Holmes vom Jahre 1892. Dieselbe beträgt nur 0,140, ist also nur wenig grösser als die des Planeten Aethra.

90 **Kometensysteme.** Wie schon oben erwähnt, berechnet man von einem neuentdeckten Kometen gewöhnlich parabolische Elemente, und geht nur zu der Berechnung einer elliptischen Bahn dann über, wenn aus irgend welchen Gründen vermuthet werden kann, dass die Bahn in der That elliptisch ist. Bei Kometen von sehr kurzer Umlaufszeit stellt sich in der Regel sehr bald heraus, ob die Beobachtungen sich durch eine Parabel genügend darstellen lassen, aber eine Vergleichung der parabolischen Bahnelemente mit denen früher erschienener Kometen zeigt auch häufig, ob die Annahme gerechtfertigt ist, dass der berechnete Komet schon in früheren Erscheinungen beobachtet war. Bisweilen bewegen sich indessen Kometen in sehr nahe derselben Bahn, während eine genaue Berechnung zeigt, dass sie nicht mit einander identisch sind, und da es an und für sich höchst unwahrscheinlich ist, dass zwei Kometen, welche gar keinen Zusammenhang haben, sich in derselben Bahn bewegen, so kann man bei Kometen von nahezu gleicher Bahn auf einen ursprüng-

lichen Zusammenhang oder einen gemeinsamen Ursprung schliessen. Es wurde oben schon die Trennung der Biela'schen Kometen in zwei selbstständige Theile erwähnt. Eine solche Theilung von Kometen ist auch sonst beobachtet, z. B. schon von Seneca bezüglich eines Kometen erwähnt worden. Ferner entdeckte Liais in Olinda in Brasilien im Jahre 1860 einen Kometen, der aus zwei getrennten Nebeln bestand, welche dieselbe Bahn verfolgten; von dem zweiten Kometen des Jahres 1882 haben sich während der Zeit seiner Sichtbarkeit eine ganze Anzahl nebelförmiger Gebilde abgelöst, so dass z. B. am 14. October sechs bis acht derselben neben dem Kometen sichtbar waren, und der Brooks'sche Komet des Jahres 1889 hatte ebenfalls mehrere Nebenkometen in seiner Begleitung.

Ein sehr auffallendes Beispiel mehrerer Kometen, welche sich in grosser Entfernung von einander in nahezu derselben Bahn bewegen, bieten die hellen Kometen der Jahre 1843, 1880 und 1882.

Von dem erstgenannten, der schon oben in Fig. 137 abgebildet ist, war zuerst im mittleren Europa nur der Schweif als ein etwa 40° langer, schmaler Lichtstreif sichtbar, während der Kern sich stets unter dem Horizonte befand. Allmählich kam der Komet höher, so dass der Kern beobachtet wurde, aber die Helligkeit des Kometen nahm jetzt sehr rasch ab. In südlichen Gegenden war der Kern des Kometen aber schon viel früher sichtbar gewesen, und so gelang es denn durch Benutzung aller Beobachtungen, eine recht sichere Bahn zu berechnen. Die von Hubbard abgeleiteten Bahnelemente sind folgende:

Durchgang durch das Perihel (mittl. Pariser Zeit)	Länge des Perihels	Länge des aufst. Knotens	Neigung der Bahn	Kürzeste Entfernung von der Sonne	Umlaufszeit	Richtung der Bewegung
Febr. 27. $10^h\,0^m$	278° 40′	1° 42′	35° 41′	0,00554	533 Jahre	Rückl.

Danach betrug die kürzeste Entfernung vom Mittelpunkte der Sonne 825000 km, und von ihrer Oberfläche nur 129000 km, nur den dritten Theil der Entfernung des Mondes von der Erde, so dass der Komet mitten durch die weiter unten zu erwähnende Corona der Sonne sich hindurchbewegt haben muss.

Im Februar 1880 erschien auf der südlichen Halbkugel ein heller Komet dicht bei der Sonne, dessen Bewegung die folgenden Elemente ergab:

Durchgang durch das Perihel (mittl. Pariser Zeit)	Länge des Perihels	Länge des aufst. Knotens	Neigung der Bahn	Kürzeste Entfernung von der Sonne	Umlaufszeit	Richtung der Bewegung
Jan. 27. 11^h	278° 23′	356° 17′	36° 52′	0,00591	?	Rückl.

Die Elemente sind so ähnlich denen des Kometen vom Jahre 1843, und die äussere Erscheinung des Kometen vom Jahre 1880 entsprach so vollständig den Beschreibungen des Kometen vom Jahre 1843, dass

vielfach die Identität beider Kometen angenommen wurde. Allerdings widersprach dieser Annahme der Umstand, dass für den Kometen von 1843 eine Umlaufszeit von 533 Jahren gefunden war, indessen waren die Beobachtungen, auf denen die obige Bahn beruhte, ziemlich unsicher, und so erschien es nicht unmöglich, dass die Umlaufszeit in Wirklichkeit sehr viel kleiner war. Ueberdies war es sehr wohl denkbar, dass der Komet in der grossen Nähe der Sonne zur Zeit seines Periheldurchganges einen Widerstand durch eine Sonnenatmosphäre erleiden könne, durch welche die grosse Axe seiner Bahn verkleinert und in Folge dessen seine Umlaufszeit verringert werden müsste. Dass diese Annahme nicht richtig sei, zeigte sich indessen schon nach zwei Jahren.

In den ersten Tagen des September 1882 wurde nämlich auf der südlichen Halbkugel ein heller Komet bemerkt, der bis Mitte März des folgenden Jahres beobachtet werden konnte. Die Bahnelemente desselben sind von Kreutz folgendermaassen gefunden:

Durchgang durch das Perihel (mittl. Pariser Zeit)	Länge des Perihels	Länge des aufst. Knotens	Neigung der Bahn	Kürzeste Entfernung von der Sonne	Umlaufszeit
Sept. 17. 6^h	$276^0 25'$	$346^0 1'$	$38^0 0'$	0,00775	772 Jahre.

Bewegung rückläufig.

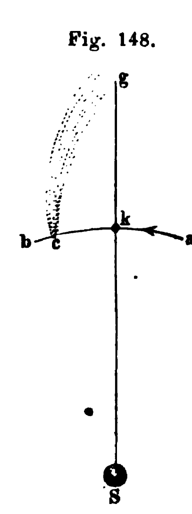
Bei diesem Kometen ist eine wesentlich kleinere Umlaufszeit ausgeschlossen, und es ist somit mit Bestimmtheit anzunehmen, dass er mit den vorher erwähnten Kometen nicht identisch ist, trotz der Aehnlichkeit der übrigen Bahnelemente. Unerwarteter Weise gab aber dieser Komet auch Aufschluss über die vermeintliche Wirkung eines widerstehenden Mittels auf die Bewegung in der Nähe des Perihels. Der Komet war nämlich vor und nach dem Perihel beobachtet, und wenn in der Nähe des Perihels die Bahn eine Aenderung erfahren hatte, so mussten die vor dem Perihel angestellten Beobachtungen andere Bahnelemente ergeben als die späteren. Es hat sich indessen herausgestellt, dass sämmtliche Beobachtungen durch eine und dieselbe Bahn genügend dargestellt werden können, dass demnach eine Störung im Perihel trotz der grossen Nähe des Kometen bei der Sonne nicht stattgefunden hat und der Komet somit nicht identisch mit den beiden der Jahre 1843 und 1880 sein kann. Alle drei Kometen und vermuthlich noch mehrere, die in früheren Jahrhunderten dicht bei der Sonne erschienen sind, über die aber nicht genügend bestimmte Nachrichten für eine genauere Bahnbestimmung vorliegen, bewegen sich sehr nahe in der gleichen Bahn um die Sonne. Wahrscheinlich gehört in dasselbe System auch der erste Komet des Jahres 1887, welcher nur auf der südlichen Halbkugel gesehen werden konnte, aber von dem wegen völligen Mangels an einem Kerne nur sehr rohe Beobachtungen gelangen.

91 **Die Kometenschweife.** Kepler spricht seine Ansicht über die Kometenschweife dahin aus, dass die Sonnenstrahlen, welche durch

den Kern eines Kometen hindurch gehen, etwas von der Materie desselben mit sich fortführen; er hat also bereits richtig erkannt, dass die Kometenschweife aus einem dem Kerne entströmenden, die Sonne gleichsam fliehenden Nebel bestehen, wenn er auch irrthümlich die Sonnenstrahlen als das Agens betrachtete, welches ihn mit sich fortführt. Es sind also nicht immer dieselben Theilchen, welche wir im Kometenschweife schimmern sehen, vielmehr entwickeln sich von seinem Kerne unaufhörlich neue Stoffe, die mit grosser Geschwindigkeit von dem Kometen abwärts strömen und sich endlich im weiten Himmelsraume verlieren.

Auch Newton hatte ähnliche Vorstellungen über die Bewegung der Schweifmaterie, wenn er auch nicht der Meinung war, dass dieselbe von den Sonnenstrahlen mit fortgerissen würde. Er gründete darauf eine Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit, mit welcher die Schweifmaterie von dem Kometen wegströmt. In Fig. 148 sei S die Sonne, ab ein Stück der wahren Bahn des Kometenkernes und cg der Kometenschweif. Denkt man sich nun vom Ende g des Schweifes eine gerade Linie nach der Sonne gezogen, so schneidet dieselbe die Kometenbahn bei k und man kann wenigstens annähernd annehmen, dass die Schweifmaterie, welche sich im Augenblick bei g befindet, dem Kometenkerne entströmte, als er sich in k befand, und während der Kometenkern von k nach c fortlief, gelangte die bei k vom Kern ausgestossene Schweifmaterie von k nach g. Da nun die Geschwindigkeit des Kometenkernes in seiner Bahn bekannt ist, so ergiebt sich daraus die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Schweifmaterie von dem Kerne entfernt. Auf diese Weise fand er, dass der Stoff, welcher am 25. Januar 1681 das Ende des grossen Kometenschweifes bildete, ungefähr am 11. December 1680 dem Kerne entströmt war.

Fig. 148.



Nach der eben erläuterten Newton'schen Methode fand Olbers, dass die Materie, welche am 13. October 1811 das obere Schweifende bildete, ungefähr vor 11 Tagen den Kern verlassen hatte. Der Schweif des Kometen war um diese Zeit 12 Millionen geographische Meilen lang und diese Länge wurde von der Schweifmaterie in der kurzen Zeit von 11 Tagen durchlaufen, was einer mittleren Geschwindigkeit von 12 bis 13 geographischen Meilen in der Secunde entspricht.

Aus der Form des Kometenschweifes von 1811 folgerte Olbers, dass die von dem Kerne und seiner eigenthümlichen Atmosphäre entwickelten Dämpfe sowohl von diesem als auch von der Sonne abgestossen werden, sie muss sich also da anhäufen, wo die Repulsivkraft des Kometenkernes anfängt, von der Repulsivkraft der Sonne überwogen zu werden.

Ohne Zweifel sind die Schweife der Kometen von 1665, 1680, 1682, 1744 u. s. w., kurz aller Kometen, bei welchen man in der Mitte des Schweifes ein breites dunkles Band wahrgenommen hat, in gleicher Weise zu erklären, wie der Schweif des Kometen von 1811. Die kleinen schweiflosen Kometen bestehen dagegen wohl ganz aus einer Dunstmasse, auf welche die Sonne keine Repulsivkraft ausübt.

Die Kometenkerne folgen, von der Sonne angezogen, den Kepler'schen Gesetzen, während die Schweifmaterie von Sonne und Kometenkern abgestossen wird. Die Ursache dieser Abstossung betreffend, äussert sich Olbers dahin, dass man sich kaum enthalten könne, an etwas, unseren elektrischen Abstossungen Entsprechendes zu denken.

Bessel, welcher die später noch zu besprechenden Ausströmungen des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 genauer untersuchte, gelangte gleichfalls zu dem Resultate, dass diejenigen Theile der Kometen, welche den Schweif bilden, unzweifelhaft die Einwirkung einer abstossenden Kraft der Sonne erfahren.

Auf den von Olbers und Bessel entwickelten Ansichten über die Natur der Kometen weiter bauend, hat Zöllner eine Kometentheorie entwickelt (Ueber die Natur der Kometen, Leipzig 1872), deren Grundzüge ungefähr die folgenden sind:

Die Kometenkerne sind tropfbar flüssige, aus Wasser- oder Kohlenwasserstoff-Verbindungen (etwa Petroleum) bestehende Kugeln, welche, bis auf eine gewisse Entfernung der Sonne genähert, auf der den Sonnenstrahlen ausgesetzten Seite ins Kochen gerathen. Die beim Kochen stattfindende Blasenbildung wird aber stets von einer starken Zerstäubung der flüssigen Masse und in Folge dessen auch von einer elektrischen Erregung begleitet sein. Die entwickelten und elektrisch erregten, stark verdünnten Dämpfe werden aber von der gleichnamigen Elektricität der Sonne abgestossen und bilden den in Folge seiner elektrischen Erregung selbstleuchtenden Kometenschweif.

Wenn der Komet nach seinem Durchgange durch das Perihel sich wieder von der Sonne entfernt, so wird das Kochen an der Oberfläche seines Kerns wieder abnehmen und endlich ganz aufhören. Wiederkehrende Kometen werden also bei jedem Durchgange durchs Perihel von Neuem einen Theil ihrer Kernmasse verlieren, nach jedem Durchgange durchs Perihel muss also auch der Schweif unbedeutender werden, wie dies auch durch die Erscheinungen des Halley'schen Kometen vollkommen bestätigt wird.

Ist auf diese Weise endlich der flüssige Kern des Kometen verschwunden, so hört auch mit der Verdampfung oder Zerstäubung der Flüssigkeitstheilchen die Ursache der elektrischen Erregung und mit ihr die elektrische Repulsion der Sonne auf, wir haben es also nun mit einem schweiflosen Kometen zu thun, welcher ganz aus Dunstmasse ohne Kern besteht.

Gegen die Ansicht, dass eine elektrische Fernewirkung der Sonne die treibende Kraft sei, welche die Bildung der Kometenschweife veranlasst, ist Zenker aufgetreten, indem er sagt, dass jede Elektricitätsentwickelung doch eigentlich nur in einer Trennung der beiden bis dahin verbundenen Elektricitäten bestehe, dass also der Erfolg einer Elektricitätserregung auf der Sonnenoberfläche nur der sein könne, dass sich um den Sonnenmittelpunkt zwei concentrische Kugelschalen freier, aber entgegengesetzter Elektricität lagern, deren Wirkung in die Ferne sich gegenseitig aufhebt.

Zöllner weist diesen Einwand mit der Bemerkung zurück, dass die Träger der geschiedenen Elektricitäten nicht in gleicher Quantität auf der Oberfläche der Sonne bleiben, dass vielmehr die mit Gewalt emporgeschleuderten Dämpfe und Gase die eine (wahrscheinlich die positive) Elektricität mit sich fortführen und in den planetarischen Räumen zerstreuen, während die Sonne mit der entgegengesetzten (negativen) Elektricität geladen bleibt. Es tritt also hier etwas Aehnliches ein, wie bei der Armstrong'schen Dampfelektrisirmaschine, wo der Kessel mit negativer Elektricität geladen bleibt, während die ihm entströmenden Dämpfe die positive Elektricität entführen.

In neuerer Zeit hat sich besonders Bredichin in Moskau (jetzt in Pulkowa) mit Untersuchungen über die physische Beschaffenheit der Kometenschweife beschäftigt und ist dabei zu sehr bemerkenswerthen Resultaten gelangt. Auf ein von dem Kometenkerne abgestossenes Theilchen wirken, abgesehen von der abstossenden Kraft des Kometenkerns selbst, die aber vermuthlich nur auf geringe Entfernungen wirksam ist, zwei Kräfte, nämlich die anziehende Kraft der Sonne, welche in Folge der Gravitation stattfindet, und ihre abstossende elektrische Kraft. Die Wirkung der letzteren Kraft hängt namentlich ab von der Grösse der Oberfläche des bewegten Theilchens, während die Wirkung der ersteren hiervon unabhängig ist. Die Folge davon wird sein, dass, je kleiner ein Körper ist, um so mehr die Wirkung der elektrischen abstossenden Wirkung der Sonne ihre Attraction überwiegt, dass also grössere Körper in ihrer Bewegung hauptsächlich durch die Attraction, kleinere dagegen durch die abstossende elektrische Wirkung der Sonne beeinflusst werden. Bei sehr kleinen Theilchen, aus denen die Kometenschweife wahrscheinlich bestehen, wird demnach die Geschwindigkeit ihrer durch die abstossende Kraft der Sonne bewirkten Bewegung ebenfalls von ihrer Grösse abhängen, und da von dieser Geschwindigkeit die Form des Schweifes abhängt, so kann man von der letzteren auf die relative Grösse derjenigen Theilchen einen Schluss ziehen, welche Kometenschweife von wesentlich verschiedener Form bilden. Bredichin hat nun gezeigt, dass im Wesentlichen drei Typen von Kometenschweifen vorkommen, nämlich solche, bei denen die abstossende Kraft 11- bis 12 mal, solche, bei denen sie 1- bis 1,5 mal, und solche, bei denen sie etwa 0,2 mal so gross ist, wie die Anziehungskraft der Sonne. Der erste Typus bewirkt

lange, schmale Schweife, der zweite breitere, gebogene und der dritte kurze, dicke Büschel. Nimmt man nun an, dass die Beschleunigung, welche die Atome durch die Abstossung erlangen, umgekehrt proportional sind ihren Moleculargewichten, und berücksichtigt, dass die Kometen des zweiten Typus bei spectroskopischer Untersuchung meistens die Linien des Kohlenwasserstoffes zeigen, so wird man auf die Annahme geführt, dass die Schweife des ersten Typus wahrscheinlich aus Wasserstoff und die des dritten Typus aus Eisentheilen bestehen. Wenn ein Komet zwei Schweife gezeigt hat, so waren diese immer von verschiedenen Typen; bei manchen Kometen sind auch alle drei Typen vertreten gewesen.

92 **Die Ausströmungen und der Kern der Kometen.** Die im vorigen Paragraphen entwickelten Ansichten über die Bildung der Kometenschweife werden auch sehr durch die Ausströmungserscheinungen unterstützt, welche man vielfach an den Kernen der Kometen beobachtet hat. Schon Hevel machte die Bemerkung, dass der Kopf eines von ihm beobachteten Kometen in steter Veränderung begriffen sei. In ganz ausgezeichneter Weise zeigte sich diese Erscheinung, welche sich bei genauerer Untersuchung als eine vom Kern ausgehende, gegen die Sonne gerichtete Strömung erweist, an dem schönen Kometen vom Januar und Februar 1744. In seiner Beschreibung „des im Anfang des Jahres 1744 erschienenen Kometen (Petersburg 1744)“ giebt Heinsius acht vortreffliche Darstellungen des von ihm beobachteten Kometenkopfes, von denen zwei in $^1/_2$ des Originals auf Tab. 9 wiedergegeben sind. An dem Kometen von 1811 war eine solche Ausströmung des Kernes selbst nicht sichtbar, wahrscheinlich weil er viel weiter von der Sonne entfernt blieb, als der von 1744 und die sogleich näher zu besprechenden Kometen (Tab. 9).

Der Halley'sche Komet zeigte bei seiner Erscheinung im Jahre 1835 ebenfalls die Ausströmung in hervorragendem Maasse. Am 2. October sah Bessel an dem Kerne des Kometen, der übrigens keineswegs scharf begrenzt war, eine Lichtmaterie in der Form eines Fächers in der Richtung nach der Sonne hin ausgehen, von einem Schweife des Kometen war nichts zu erkennen. Am 8. October hatte sich die Ausströmung in der Länge ausgedehnt, dagegen in der Breite vermindert; die Richtung der Ausströmung ging nicht mehr nach der Sonne hin, sondern bildete gegen diese Richtung einen merklichen Winkel. Am 12. October war die Ausströmung noch länger und schmäler geworden, und gab dem Kometenkerne das Aussehen einer brennenden Rakete, deren Ausströmung, etwa durch Zugwind, nach der einen Seite abgelenkt wurde. In dieser Nacht trat eine Bewegung des ausströmenden Lichtkegels höchst auffallend hervor; am Anfang war seine Richtung 19° links von der Richtung der Sonne, die Neigung wuchs aber von Stunde zu Stunde und betrug gegen 3 Uhr Morgens 55°.

Am folgenden Abend war die Ausströmung verschwunden, und statt ihrer sah man eine grosse Masse ausgeströmter Lichtmaterie links von

dem Kerne des Kometen in einer noch etwas grösseren Neigung gegen die Richtung zur Sonne, als die, bis zu welcher sich die Ausströmung am vorhergehenden Tage bewegt hatte. Man sah also, dass sie ihre Bewegung nach der linken Seite noch fortgesetzt hatte, dass ihr aber hier die Kraft, sich in Thätigkeit zu erhalten, geschwunden war.

Am 14. war die Ausströmung wieder nach der rechten Seite zurückgegangen und befand sich wieder nahe in der Richtung nach der Sonne. Sie strahlte wieder in grosser Lebhaftigkeit. Am 15. hatte sich die Ausstrahlung noch weiter nach rechts bewegt, sie hatte eine beträchtliche Neigung gegen die Richtung der Sonne und hatte an Glanz bedeutend abgenommen. Sie hatte also offenbar eine pendelnde Bewegung und war am lebhaftesten, wenn sie nach der Sonne hin gerichtet war (Tab. 9).

Im October 1858 entwickelte sich das Phänomen der Ausströmung am Donati'schen Kometen in ganz ausgezeichneter, den Kometen von 1835 und 1744 ähnlicher Weise und wurde der Gegenstand vielfacher genauer Beobachtungen und Messungen. Tab. XXIII zeigt den Kopf des Donati'schen Kometen, wie ihn Bond am 29. September beobachtete. Den von Julius Schmidt (Athen 1863) publicirten „Astronomischen Beobachtungen über Kometen" entnehmen wir Folgendes über diesen Gegenstand:

Am 30. September 1858, Abends 6 Uhr, also in der Dämmerung, als eben der Lichtbogen der Coma (d. h. die nächste Umgebung des Kerns) sich zeigte, erschien der Kern des Kometen ganz verwaschen, ähnlich einer kleinen Wolke; nach und nach löste sich von dem Kerne gegen die Sonne hin eine ungefähr halbkugelförmige Nebelhülle ab, so dass um 7 Uhr 40 Minuten der Kern seine frühere Schärfe und Kleinheit wieder erlangt hatte und nun von einem schönen kreisförmigen Lichtbogen, von einer Hülle umgeben erschien, die nach aussen scharf begrenzt und hell, rückwärts aber gegen den dunklen Raum hin geöffnet war. Ausserdem zeigte sich noch in dem allgemeinen Lichte der Coma eine zweite äussere, der ersteren concentrische mattere Hülle.

Aehnliche Erscheinungen zeigten sich auch an den folgenden Abenden, und am 3. October begann Schmidt die regelmässigen Messungen des Phänomens.

So fand er z. B. am 4. October den scheinbaren Durchmesser der inneren Halo

um	5^h 36^m	gleich	5,38″
„	6 23	„	10,63
„	7 39	„	16,45
„	8 19	„	19,8

In 2 Stunden 43 Minuten war also der Halbmesser der inneren Halo fast auf das Vierfache gewachsen. Für die grössere Halo ergaben sich folgende scheinbare Durchmesser:

5^h 59^m	gleich	32,15″
7 41	„	39,73

In Fig. 149 ist die Erscheinung dargestellt, wie sie am 4. October zu drei verschiedenen Stunden wahrgenommen wurde. Dabei ist noch zu bemerken, dass der Kern des Kometen mit der Halo schon in heller Dämmerung sichtbar war, während man von dem Schweife noch nichts wahrnehmen konnte.

Das gleiche Schauspiel wiederholte sich an den folgenden Abenden. Von dem Kerne lösten sich in bestimmten Intervallen Lichtringe ab, welche, concentrisch sich erweiternd, lichtschwächer wurden, um endlich zu verschwinden. So hat Chacornac in Paris nach einander acht Ringe sich ablösen und allmählich verschwinden sehen.

Im Durchschnitt zeigte sich, dass die Geschwindigkeit, mit welcher die Lichtringe sich vom Kerne entfernen, abnimmt, wenn ihr Halbmesser wächst, so ergab sich also im Durchschnitt diese Geschwindigkeit grösser für den inneren als für den äusseren Ring.

Fig. 149.



So ergab sich z. B. für die Geschwindigkeit g' des inneren und für die Geschwindigkeit g'' des äusseren Ringes:

	g'	g''
Am 4. October	321 Toisen	175 Toisen
„ 5. „	375 „	261 „
„ 7. „	303 „	281 „

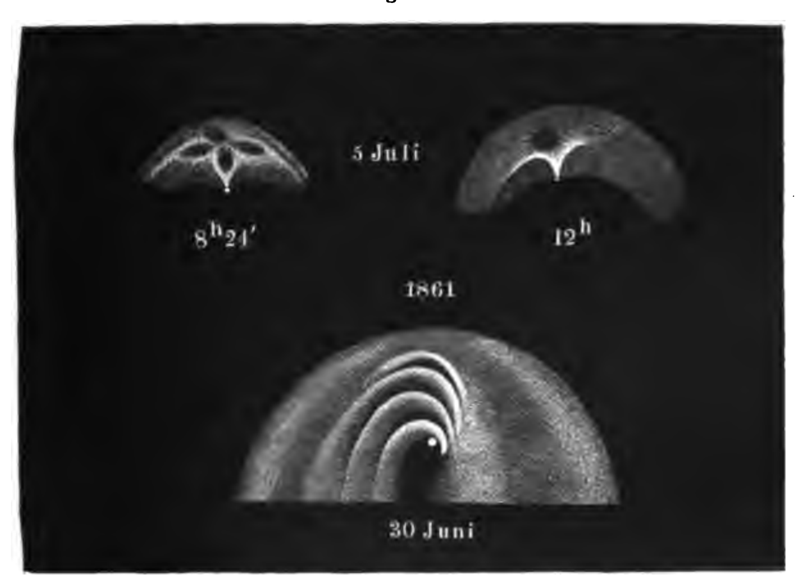
Der wahre Durchmesser des Nucleus betrug nach Schmidt's Messungen zwischen dem 2. und 15. October 200 bis 287 geographische Meilen. Der Scheitelradius der Coma betrug am 10. September 5400 Meilen und nahm bis zum 16. October bis auf 2820 Meilen ab.

Am 30. Juni 1861 erschien am nördlichen Himmel, ohne vorher bemerkt worden zu sein, ein Komet von enormen Dimensionen. Sein Kopf stand in der Nähe von o des grossen Bären (ungefähr an der Grenze dieses Sternbildes und des Luchses), sein über 100° langer Schweif ging über den Polarstern und γ Lyrae bis gegen ξ Aquilae hin. Während seiner raschen Fortbewegung am Himmelsgewölbe nahm auch seine Grösse rasch ab, so dass er schon nach 8 bis 10 Tagen keine Aufsehen erregende Erscheinung mehr war, obgleich er für aufmerksame Beobachter noch einige Zeit lang mit blossem Auge sichtbar blieb.

Auch dieser Komet zeigte ausgezeichnete Strömungserscheinungen und fortwährende Veränderungen des Kopfes.

In Fig. 150 ist der mit dem Fernrohre beobachtete Kopf des Kometen für zwei verschiedene Abende dargestellt. Die unterste der drei Abbildungen stellt denselben dar, wie er sich in der Nacht vom 30. Juni nach Mitternacht zeigte. Anfangs zeigten sich nur drei, später vier Lichtbogen, ganz analog mit den Sectoren des Donati'schen Kometen, nur gingen hier die Lichthüllen in excentrischen Curven von dem Kerne aus. Auch hier bildeten sich die Lichtströmungen in kurzen Zeiten und konnten über eine gewisse Grenze hinaus nicht wachsen. Später nahmen die Ausströmungen des Kopfes mehr eine büschelförmige Gestalt an;


Fig. 150.



diese gegen die Sonne hin ausgesendeten Büschel wuchsen oft in wenigen Stunden um das Doppelte ihrer ursprünglichen Länge, um alsdann undeutlich zu werden. Kurz, auch der Kopf dieses Kometen zeigte einen beständigen Wechsel der Gestalten.

In den beiden oberen Abbildungen der Fig. 150 ist die Erscheinung des Kometenkopfes dargestellt, wie sie Schmidt auf der Sternwarte in Athen am 5. Juli in den beigeschriebenen Stunden beobachtete.

Im August 1862 erschien abermals ein mit blossem Auge sichtbarer Komet am nördlichen Himmel, dessen Schweiflänge zwar nur 20^0 erreichte und welcher keineswegs durch seine Helligkeit, wohl aber durch die Strömungserscheinungen seines Kopfes ausgezeichnet war. Besonders auffallend war an diesem Kometen die Gestalt der Coma, welche lange Zeit hindurch ihre selbständige kreisrunde Gestalt behielt, wobei sie

links und rechts über die Seitenränder des Schweifes übergriff, wie man dies in Fig. 151 sieht, in welcher der Totalanblick des Kometen am



Fig. 151.

24. August und der Kopf dargestellt ist, wie er sich in der Nacht des 24. und des 29. August zeigte.

Am 24. August betrug die scheinbare Länge des Schweifes ungefähr 16°, der scheinbare Durchmesser des Scheitelradius der Coma aber

14,5 Minuten, woraus sich der wahre Durchmesser desselben gleich 43 Erddurchmessern ergab. (Der Abstand des Kometenkopfes von der Erde betrug zu dieser Zeit ungefähr 0,4 Erdweiten.)

Was den Kern anbelangt, so erschien er höchstens unter einem Winkel von 1″, wonach sein wahrer Durchmesser nicht über 0,07 Erdhalbmesser oder 60 geographische Meilen betragen haben kann.

Die im Allgemeinen gegen die Sonne gerichteten Ausströmungen des Kerns waren büschel- oder fächerartig, und die Lage des Fächers gegen die Axe des Schweifes war stets variirend. Was die Wandlungen des Kometenkopfes betrifft, so fand sie Schmidt einem periodischen Wechsel unterworfen, indem nach je drei Tagen ungefähr dieselbe Gestaltung des Kometenkopfes wiederkehrte.

Der Kern der Kometen ist niemals scharf begrenzt, sondern geht ganz allmählich in die ihn umgebende Coma über. Man glaubte früher, dass ein Vorübergang eines Kometen vor der Sonnenscheibe ein wesentliches Licht auf die Structur des Kometenkopfes werfen werde, indessen ist diese Hoffnung bisher nicht erfüllt worden. Der grosse Komet des Jahres 1882 wurde am 17. September in unmittelbarer Nähe der Sonne gesehen und sein Eintritt in die Sonnenscheibe am Cap und in Cordoba beobachtet. Ueberraschender Weise wurde aber von dem Kometen sofort nach seinem Eintritte in die Sonnenscheibe keine Spur mehr gesehen, so dass z. B. Gould in Cordoba, dem die Bahnelemente des Kometen noch nicht bekannt waren, annahm, dass der Komet sich nicht vor, sondern hinter der Sonnenscheibe befände. Hieraus geht hervor, dass das Volumen des Kernes sehr klein gewesen sein muss.

Die Meteorite. Während Jupiter, der grösste Planet unseres 93
Sonnensystems, einen Durchmesser von 20 000 geographischen Meilen hat, ist der Durchmesser eines der kleinsten bis jetzt entdeckten, der Clio, nicht ganz 4 geographische Meilen, er ist also ungefähr 5000 mal kleiner. Sicherlich aber können wir annehmen, dass diejenigen um die Sonne kreisenden Weltkörper, welche wir mit dem Fernrohre wahrnehmen können, nicht die einzigen wirklich vorhandenen sind, sondern dass es kleinere giebt, welche ihrer geringen Dimensionen wegen für uns unsichtbar sind. Ein Weltkörper, welcher 5000 mal kleiner ist als Clio, würde einen Durchmesser von kaum 1,5 m haben und in gleichem Verhältniss abermals um eine Stufe herabsteigend, würde man zu Körpern kommen, welche kaum einen Durchmesser von $^1/_2$ mm haben. Solche kleine und kleinste Weltkörper können aber in ungeheurer Zahl um die Sonne kreisen, ohne dass wir von ihrer Existenz Kenntniss erhalten, wenn sie nicht etwa, in ihrem Laufe die Erdbahn kreuzend, unserem Planeten so nahe kommen, dass sie auf die Oberfläche desselben herabstürzen.

Dass aber von Zeit zu Zeit wirklich mehr oder minder grosse Gesteinsmassen, Meteorsteine, Meteorite oder Aërolithe, wie

man sie nennt, vom Himmel auf die Erde herabfallen, ist eine durch unzweifelhafte Zeugnisse hinlänglich constatirte Thatsache.

Der älteste, historisch sichere Meteorsteinfall ist wohl der, welcher bei Aegos Potamos in Thracien im Jahre 476 v. Chr. stattfand. Nach Plinius soll der Stein zu seiner Zeit noch vorhanden gewesen sein und die Grösse eines Wagens gehabt haben.

Chinesische Berichte gedenken eines lange vor dem Beginn unserer Zeitrechnung unter heftigen Donnerschlägen aus einer Wolke herabgestürzten Aërolithen.

Die „Annales Fuldenses“ berichten von einem grossartigen Meteorsteinfalle, welcher im Jahre 823 in Sachsen stattfand, durch welchen Menschen und Vieh erschlagen und 35 Dörfer in Brand gesteckt wurden.

Weitere in Europa vorgekommene bedeutende Meteorsteinfälle werden aus den Jahren 921, 1010, 1164, 1304 u. s. w. gemeldet.

Ein sehr berühmt gewordener, von Seb. Brandt in Versen besungener Steinfall fand am 7. November 1492 zu Ensisheim im Elsass statt; der ursprünglich 260 Pfund schwere Stein war halb Mannes tief in die Erde eingedrungen. Sein Fall war von einem furchtbaren Krachen (Klappf wie die Urkunde sagt) begleitet, welches bis Villingen und Luzern hin gehört worden sein soll. Nachdem viele Stücke davon abgeschlagen worden waren, wurde der Rest in die Kirche von Ensisheim gebracht, wo er sich noch befindet. Dieses Fragment ist von graubläulicher Farbe, fast schiefrig und leicht spaltbar. Es enthält Eisenkies und nickelhaltiges Eisen mit eingesprengten Olivinkörnern.

Bei dem ungeheuren zu Crema am 4. September 1511 vorgekommenen Meteorsteinfalle sollen 1200 einzelne Steine herabgefallen sein, von denen einer 260, ein anderer 120 Pfund wog. Unter Blitz und Donner entfielen diese Gesteinsmassen einer dunklen Wolke.

In späteren Zeiten mehren sich die Nachrichten über Meteorsteinfälle derart, dass eine speciellere Besprechung derselben hier nicht wohl möglich ist. Klein hat in seinem „Sonnensystem“ (Braunschweig 1869) eine Zusammenstellung aller Meteorite gegeben, deren Fallzeit genau bekannt ist. Dieses mehr als 300 Meteorsteinfälle enthaltende Verzeichniss zählt deren

3	aus	dem	15.	Jahrhundert,
15	„	„	16.	„
23	„	„	17.	„
40	„	„	18.	„
216	„	„	19.	„

Dass die Anzahl der in unserem Jahrhundert bekannt gewordenen Meteorsteinfälle so sehr die aus früheren Jahrhunderten übertrifft, rührt sicherlich nur daher, dass man gegenwärtig derartigen Naturerscheinungen eine grössere Aufmerksamkeit zuwendet als früher.

Ursprung der Meteorite. Der Ursprung der Meteorite war bereits im Alterthume richtig erkannt worden. Aristoteles meinte freilich, es seien Steine, welche zufällig von heftigen Winden in die Höhe gewirbelt worden wären. Diogenes von Apollonia lehrte aber ganz richtig, dass sich zugleich mit den sichtbaren Sternen auch unsichtbare durch den Raum bewegen und unter Umständen auf die Erde herabstürzen. Paracelsus lässt die Meteorsteine aus der Sonne, Andere lassen sie aus dem Monde kommen. Montanari behauptete den kosmischen Ursprung der Aërolithen, für den sich auch Halley und Maskelyne aussprachen. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts begann man nach dem Vorgange der Pariser Akademie die Wirklichkeit der Meteorsteinfälle, trotz der vielen gut beglaubigten Nachrichten über solche, geradezu in Abrede zu stellen. So standen die Sachen, als Chladni im Jahre 1794 in seiner berühmten Schrift: „Ueber den Ursprung der von Pallas entdeckten Eisenmasse und einige damit in Verbindung stehende Naturerscheinungen“ für die Existenz und den kosmischen Ursprung der Meteorsteine in die Schranken trat, ohne jedoch für die nächste Zeit die akademischen Vorurtheile erschüttern zu können. Fürchtete doch Klaproth noch im Jahre 1803 die Analyse eines Meteorsteines zu publiciren, „weil dadurch ein gelehrter Streit entstehen könnte, da man noch zu sehr geneigt sei, das Factum für ein Märchen zu halten“. 94

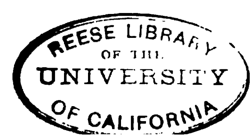
Da ereignete sich am 26. April desselben Jahres der berühmte Meteorsteinfall zu l'Aigle, im Departement de l'Orne, zu dessen Untersuchung Biot von der Pariser Akademie entsendet wurde. Er bestätigte vollkommen alle darüber eingelaufenen Berichte. Am genannten Tage war zu l'Aigle zwischen 1 und 2 Uhr Nachmittags ein kleines, fast unbewegliches Wölkchen beobachtet worden, aus welchem unter 5 bis 6 Minuten lang andauernden Explosionen Steine herabfielen, deren man 2000 bis 3000 auf einer gegen zwei Meilen langen elliptischen Fläche zerstreut fand. Der grösste davon wog 9 kg, der kleinste 8 g.

Diesem Falle folgten bald andere, welche alle bis dahin über diesen Gegenstand gehegten Zweifel zerstreuten. So fielen am 15. März 1806 in der Nähe von Alais unter heftigen Explosionen zwei Steine, einer von acht und einer von vier Pfund.

Am 13. März 1807 fiel im Gouvernement Smolensk ein 140 Pfund schwerer Stein nieder und am 22. Mai 1808 fielen zu Stannern in Mähren 200 bis 300 Steine von $^1/_2$ Loth bis zu 11 Pfund. Am 13. November 1835 wurde im Departement Ain durch einen Aërolithen ein Haus angezündet.

Am 5. Mai 1869 fiel in Krähenberg in der Pfalz ein Meteorstein von 31,5 Pfund Gewicht nieder, am 22. Mai desselben Jahres ein Stein von 160 Pfund Gewicht in Clégnérec, Dep. Morbihan in der Vendée.

Bisweilen fällt in Begleitung von Meteorsteinen auch ein schwarzer oder rother Sand oder Staub nieder, während in anderen Fällen solcher



meteorischer Staub auch ohne Meteorsteine vorkommt. Es ist wohl kaum zu bezweifeln, dass solche Staubmassen mit den Aërolithen gleicher Natur und gleichen Ursprunges sind.

Ein ohne Zweifel hierher gehöriges Beispiel wurde in den indischen Gewässern auf einem nordamerikanischen Schiffe beobachtet; am 14. November 1856, als sich dasselbe ungefähr 60 geographische Meilen südöstlich von Java befand, fiel ein Regen von feinen schwarzen Kügelchen auf das Verdeck des Schiffes nieder, die wie Bleischrot von der Sorte des Vogeldunstes aussahen. Der Durchmesser dieser Kügelchen betrug $^1/_3$ bis $^1/_{40}$ Pariser Linie; die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass sie hohl waren und häufig ein kleines Loch hatten, welches die Oeffnung ihrer Höhlung bildete. Diese vom Magnet stark angezogenen Kügelchen bestanden fast ganz aus Eisenoxyduloxyd. Reichenbach (Pogg. Ann. CVI, 1859) hat es im höchsten Grade wahrscheinlich gemacht, dass diese Kügelchen nicht etwa, wie Ehrenberg meinte, aus javanischen Vulcanen stammen, sondern dass sie wirklich kosmischen Ursprunges seien.

So hat man denn die Heimath der Meteorite nach und nach immer weiter weg legen müssen. Während man ihnen anfangs irdischen Ursprung zuschrieb, liess man sie später aus dem Monde und der Sonne kommen, bis man erkannte, dass man es mit selbständigen Körpern zu thun habe, welche in selbständigen Bahnen den Weltraum durchfliegen.

Zunächst nahm man nun an, dass die Bahnen der Meteorite, welche hier und da die Erdbahn schneiden, planetarischer Natur seien, dass man es also hier mit wenig excentrischen Bahnen von verhältnissmässig kurzer Umlaufszeit zu thun habe, bis neuere Untersuchungen bewiesen haben, dass die Bahnen der Meteorite in der Regel Hyperbeln, dass sie also weder den Bahnen der Planeten noch denen der Kometen gleichartig sind.

95 **Beschaffenheit der Meteorite.** Was nun die chemische Beschaffenheit der Meteorite betrifft, so ist vor Allem die Thatsache zu constatiren, dass in denselben bis jetzt kein Element gefunden wurde, welches sich nicht auch sonst auf unserer Erde fände.

Gustav Rose theilt die Meteorite in zwei Hauptclassen ein, in Eisenmeteorite und Steinmeteorite. Die Eisenmeteorite bestehen entweder aus gediegenem Eisen, Meteoreisen, oder aus einer solchen Eisenmasse, welche verschiedene Silicate (häufig Olivinkörner) einschliesst, wie dies z. B. bei der Pallas'schen Meteormasse der Fall ist.

Die Steinmeteorite bestehen meistens aus einer, aus verschiedenen Silicaten (grossentheils Magnesiumsilicaten) gebildeten trachytischen Grundmasse, in welche metallisches Eisen mehr oder weniger reichlich eingesprengt ist.

In beiden Arten der Meteorite hat man in den letzten Jahren Kohlenstoff, in Form kleiner Diamanten gefunden.

Nach Reichenbach's Schätzung fallen im Durchschnitt jährlich 4500 Meteorsteine auf die Erde; auf 100 Steinmeteorite kommt aber vielleicht nur ein Eisenmeteorit; dagegen verwittern die Steinmeteorite sehr rasch, während das Meteoreisen, nachdem sich auf seiner Oberfläche eine schützende Oxydschicht gebildet hat, Jahrhunderte lang erhalten bleibt, so dass man wohl längst gefallene Massen von Meteoreisen, aber keine alten Meteorsteine findet.

Die frisch gefallenen Meteorite sind so heiss, dass man sich die Hände daran verbrannt hat, und sie sind mit einer feinen, glatten, schwarzen, schlackigen Rinde überzogen, von deren Entstehung weiter unten die Rede sein wird.

Das Meteoreisen ist meistens stark nickelhaltig, und als eine charakteristische Eigenschaft desselben betrachtet man die nach ihrem Entdecker genannten Widmanstätten'schen Figuren, welche hervortreten, wenn man angeschliffene und polirte Flächen von Meteoreisen mit Salpetersäure ätzt. Fig. 152 ist die Copie eines Selbstabdruckes von geätztem Meteoreisen von Toluca in Mexico. Schon ein oberflächliches Betrachten dieser Figur genügt, um daraus die krystallinische Structur des Meteoreisens zu erkennen.


Fig. 152.



In verschiedenen Ländern hat man Massen von gediegenem Eisen gefunden, welche mit notorisch gefallenen Eisenmeteoriten die grösste Aehnlichkeit haben, indem sie nicht allein die Widmanstätten'schen Figuren zeigen, sondern auch stark nickelhaltig sind. Da nun dergleichen Eisenmassen auch dem Gebirgssystem der Gegenden, in denen man sie gefunden hat, völlig fremd sind, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, dass man es hier gleichfalls mit meteorischen Massen zu thun hat. Das erste derartige Stück, welches die Aufmerksamkeit der Gelehrten auf sich zog, war eine 655 kg schwere Eisenmasse, welche Pallas im Jahre 1772 bei Krasnojarsk am Jenisei auf der Höhe eines Bergrückens fand. Chladni war es, welcher sich zuerst für den meteorischen Ursprung der Pallas'schen Eisenmasse aussprach.

Weitere Eisenmassen von unzweifelhaft meteorischem Ursprung sind unter anderen: eine im Jahre 1814 auf einem granitischen Karpathengipfel bei Lénarto gefundene 194 Pfund schwere Masse; eine 12 Ctr.

schwere Eisenmasse, welche, am Eingange der Pfarrkirche von La Caille (Departement Var) liegend, lange den Einwohnern des Dorfes als Sitz gedient hatte u. s. w.

Sehr reich an bedeutenden meteorischen Eisenmassen ist Amerika. In den westlichen Vereinigten Staaten (Arizona), Mexico und Brasilien sind solche von 20, 140, 300, 400 und selbst 1800 Centnern gefunden worden. Als Ross auf seiner Polarreise im Jahre 1818 mit den Eskimos der Baffinsbay zusammentraf, hatten sie Messer, welche, wie der Nickelgehalt zu beweisen schien, aus Meteoreisen verfertigt waren. Sie erzählten, dass auf der Westküste von Grönland Blöcke gediegenen Eisens herumlägen.

Nordenskjöld fand in der That im Jahre 1870 auf der Disko-Insel an der Westküste von Grönland sehr grosse Eisenblöcke, welche in chemischer Hinsicht dem Meteoreisen völlig ähnlich waren und auch die Widmanstätten'schen Figuren zeigten. Indessen ist es sehr wahrscheinlich, dass diese Eisenstücke mit dem Basalt, aus dem sie sich ausgeschieden haben, aus der Tiefe der Erde hervorgebracht wurden und kein Meteoreisen sind. Es würde dies dafür sprechen, dass das Innere der Erde zum Theil dieselben Bestandtheile hat wie die Meteorite. Der grösste der von Nordenskjöld gefundenen Eisenblöcke hatte ein Gewicht von ungefähr 500 Centnern, ein anderer von 200 Centnern; einzelne Stücke waren von dem basaltischen Gestein umschlossen und theilweise überdeckt. Ein kosmischer Ursprung könnte demnach nur unter der Voraussetzung angenommen werden, dass der Fall der Eisenmassen zu einer Zeit erfolgt ist, als der Basalt in gluthflüssigem Zustande aus der Erde drang, d. h. am Ende der Kreide- oder am Anfange der Tertiärperiode.

In allen grösseren Mineraliencabinetten befinden sich jetzt auch Sammlungen von Meteoriten, deren bedeutendste neben der Londoner Sammlung die des Hof-Mineraliencabinets in Wien ist, welche im Sommer 1872 182 Steinmeteorite und 103 Eisenmeteorite enthielt. Unter den Steinmeteoriten befindet sich unter anderen ein Bruchstück des Meteoriten von Ensisheim, mehrere Stücke von l'Aigle, mehrere von Stannern und ein 280 kg schwerer Meteorstein, welcher am 9. Juni 1866 zu Knyahinya in Ungarn gefallen war.

Unter den Meteoreisenmassen der Wiener Sammlung befinden sich drei, deren Fall constatirt ist; ein über 39 kg schweres Stück, welches am 26. Mai 1751 bei Agram in Croatien, ein über 2 kg schweres Stück, welches am 14. Juli 1847 bei Braunau in Böhmen und endlich ein kleines, am 30. Juli 1835 in Nordamerika gefallenes Stück.

Nach den Wiener und Londoner Meteoritensammlungen dürften wohl die bedeutendsten sein: die zu Tübingen, ein Geschenk des Herrn von Reichenbach, welcher sie zusammengebracht und eine Reihe schätzenswerther Aufsätze über Meteorsteine in Poggendorff's Annalen publicirt hat, und dann die Sammlungen zu Berlin und Paris.

96 **Feuerkugeln.** Eine zu allen Zeiten ziemlich häufig beobachtete Erscheinung sind Feuerkugeln, welche man mit mehr oder minder grosser Geschwindigkeit hoch durch die Lüfte hinziehen oder auf die Erde herabstürzen sieht. Die scheinbare Grösse dieser Feuerkugeln ist äusserst verschieden, denn man hat solche beobachtet, deren scheinbarer Durchmesser dem des Mondes gleich war bis herab zu solchen, deren scheinbare Grösse die der Venus und des Jupiter nicht übertraf, so dass man kaum mehr von Feuerkugeln reden kann. Bei noch mehr abnehmender scheinbarer Grösse geht das Phänomen der Feuerkugeln allmählich in das der Sternschnuppen über.

Sehr häufig ziehen die Feuerkugeln einen feurigen Schweif, ähnlich einer Rakete, nach sich. Während viele Feuerkugeln lautlos verlöschen, sieht man andere unter heftiger Explosion in Stücke zerspringen, und in Folge eines solchen Zerspringens hat man in vielen Fällen das Herabfallen von Meteorsteinen beobachtet, so dass es wohl keinem Zweifel unterliegt, dass Meteorsteine und Feuerkugeln zusammengehörige Erscheinungen sind, obgleich einerseits für die Mehrzahl der beobachteten Feuerkugeln ein sie begleitendes Niederfallen von Aërolithen nicht durch Zeugen nachgewiesen und andererseits zahlreiche Meteorsteinfälle (namentlich bei Tage) ohne vorhergegangene Lichterscheinung beobachtet wurden.

Unter den zahlreichen Berichten und Beschreibungen von Feuerkugeln (seit man überhaupt auf dergleichen Erscheinungen aufmerksamer ist, vergeht kein Jahr, in welchem nicht mindestens von einem halben Dutzend Feuerkugeln berichtet wird) mögen hier nur einige wenige als Beispiel aufgeführt werden.

Am 19. März 1718 wurde in England ein fast wie die Sonne glänzendes Meteor beobachtet, welches so hell war, dass man den Mond fast nicht mehr sehen konnte und welches unter heftiger Detonation zerplatzte.

Die am 26. März 1751 bei Agram beobachtete und von einem Meteorsteinfalle begleitete Feuerkugel hinterliess, wie Haidinger in alten Urkunden aufgezeichnet fand, einen zickzackförmigen Schweif, der noch länger als drei Stunden dem blossen Auge sichtbar geblieben sein soll.

Zu Siena erschien am 16. Juni 1794 eine Feuerkugel mit langem Schweife, welche mit einem unter heftiger Explosion erfolgten und berühmt gewordenen Meteorsteinfalle endigte.

Am 5. Mai 1809 sah man zu Aberdeen um $12^1/_2$ Uhr Mittags bei vollem Sonnenschein und wolkenlosem Himmel einen Feuerball mit kurzem Schweife, welcher fünf Minuten nach seinem Erscheinen unter starkem Donner zersprang und einen dicken Rauch zurückliess.

Am 17. Juli 1835 sah man zu Mailand am nördlichen Himmel eine grosse, hellleuchtende Feuerkugel mit einem lang nachschleppenden Funkenschweife. Dieselbe Feuerkugel erschien zu Stuttgart und Heil-

bronn am südlichen Himmel. Wenige Minuten nach ihrem Verschwinden wurde sowohl zu Mailand als auch in Württemberg ein Knall gehört.

Am 12. Februar 1836, Morgens um $6^1/_2$ Uhr wurde zu Cherbourg nach Osten hin eine hellleuchtende Feuerkugel wahrgenommen, welche eine deutliche Rotationsbewegung zeigte und deren scheinbarer Durchmesser dem des Mondes fast gleichkam. Die anfangs langsam sich bewegende Feuerkugel schien bald nach ihrem Erscheinen still zu stehen, um sich dann, einen weissen Schweif nach sich ziehend, pfeilschnell zu entfernen, und endlich in einer Entfernung von ungefähr 12 Meilen unter mehrfachem Knallen niederzufallen.

In der Nacht vom 4. auf den 5. Januar 1837 wurde bei Vichy, Vesoul und mehreren anderen Orten Frankreichs, sowie auch zu Basel, München und Hildburghausen eine von Nord nach Süd fliegende Feuerkugel beobachtet, welche einen langen Schweif nach sich zog. Aus der Zusammenstellung der an verschiedenen Orten gemachten Beobachtungen dieser Feuerkugel berechnete Petit ihren Durchmesser zu 2200 m, den in einer Secunde durchlaufenen Weg zu 5200 m und ihren Abstand von der Oberfläche der Erde zu 34 Meilen.

Am 6. Juli 1850 wurde zu Bordeaux und zu Toulouse eine von Nord-Nord-West nach Süd-Süd-Ost ziehende Feuerkugel beobachtet. Bei ihrem Erscheinen war sie nach Petit's Rechnungen 32, bei ihrem Verlöschen noch 16 Meilen von der Erde entfernt. Ihren Durchmesser bestimmte er zu 215 m, ihre Geschwindigkeit zu $9^1/_2$ Meilen in der Secunde.

Am 11. Juni 1867 wurde eine Feuerkugel an vielen weit von einander entfernten Orten beobachtet, so z. B. zu Salzburg, Annecy (Savoyen), Genf, Bern, Basel, Frankfurt a. M., Bamberg, Baden-Baden, zu Paris und Umgegend u. s. w.

Nach Mittheilungen von Hagenbach erschien das Meteor zu Basel um $8^h\,25^m$ als eine Feuerkugel, welche sich raketenartig schnell erhob, in ihrem höchsten Punkte (45^0 von Nord nach West und $12^1/_2{}^0$ über dem Horizonte) etwas zu verweilen schien und sich dann langsam, aber mit beschleunigter Geschwindigkeit dem Horizonte wieder näherte. Nach dem Verschwinden des Meteors blieb ein feuriger Streifen zurück, der nach und nach wolkenartig weiss wurde und anfangs eine schraubenförmige Gestalt hatte. Erst nach Verlauf einer vollen Stunde, während welcher eine Verrückung von ungefähr 3^0 nach Westen stattgefunden hatte, war die Erscheinung vollständig verschwunden.

Aus der Zusammenstellung der Beobachtungen von Basel, Genf, Baden-Baden und Paris hat Hagenbach geschlossen, dass die Feuerkugel über einer 17 Meilen langen Strecke von Dünkirchen bis zu einem zwischen Cambrai und Avesnes gelegenen Punkte sich bewegt habe. Combinirt man die Angaben über die scheinbare Höhe des Meteors zu Basel mit denen von Paris, wo es in einer Höhe von $22^1/_3{}^0$ über dem

Horizont erschien und in einer Höhe von 16° erlosch, so fand das Aufblitzen in einer Höhe von sieben Meilen statt.

Im 12. Jahrgang der Vierteljahrsschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich findet man eine interessante Zusammenstellung verschiedener Beobachtungen dieses Meteors.

Höhe, Geschwindigkeit und Grösse der Feuerkugeln. 97

Wenn eine Feuerkugel gleichzeitig an zwei hinlänglich weit von einander entfernten Orten beobachtet, d. h. wenn für jeden der beiden Beobachtungsorte die Stelle des Himmelsgewölbes bestimmt worden ist, auf welche das Meteor projicirt erschien, so lässt sich aus diesen Angaben seine wahre Höhe über der Erdoberfläche berechnen. Da aber solche Meteore plötzlich und unvorhergesehen erscheinen und da sie auch rasch wieder verschwinden, so kann ihr scheinbarer Ort nicht durch Messung, sondern nur durch Schätzung bestimmt werden. Ferner kann von einer vollkommenen Gleichzeitigkeit der beiden Beobachtungen auch keine Rede sein und somit ist klar, dass die Bestimmungen der wahren Höhe des Meteors, wie solche bereits oben angeführt wurden, keinerlei Ansprüche auf Genauigkeit machen, so dass nur von einem groben Annähern an die Wahrheit die Rede sein kann. So viel ist aber doch auf solche Weise ermittelt worden, dass die Feuerkugeln öfters bis zu einer Höhe von einer bis zwei geographischen Meilen herabsteigen. Von genaueren Bestimmungen der Höhe der Sternschnuppen wird später die Rede sein.

Was von der Bestimmung der wahren Höhe gesagt wurde, gilt auch für die Geschwindigkeit. Das Minimum der von Petit für eine Feuerkugel berechneten Geschwindigkeit beträgt 2700 m (ungefähr $^1/_3$ Meile), das Maximum aber 76 000 m (ungefähr 10 Meilen) in der Secunde.

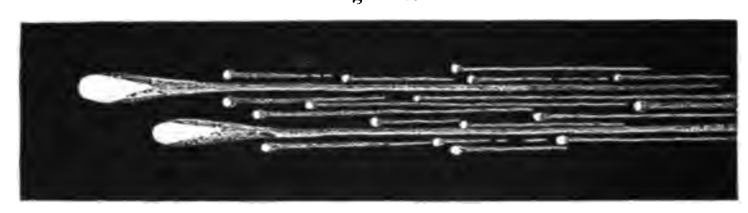
Noch weit unsicherer als die Bestimmungen von Höhe und Geschwindigkeit sind die Bestimmungen der wahren Durchmesser der Feuerkugeln, welche Petit nach den ihm vorliegenden Angaben zu 3200 bis 3900 m berechnet hat. Diese Dimensionen übertreffen die Grössen der gefallenen Meteorsteinmassen so enorm, dass man sie nicht zusammenreimen könnte, wenn diese Differenz nicht dadurch ihre Erklärung fände, dass die scheinbaren Durchmesser der Feuerkugeln in Folge der Irradiation bedeutend vergrössert erscheinen.

Welch grossen Einfluss die Irradiation auf die Schätzung des scheinbaren Durchmessers von Feuerkugeln ausübt, hat Julius Schmidt gezeigt, welchem es gelang, zu Athen am 19. October 1863, Morgens früh um $2^h\ 55^m$ eine Feuerkugel teleskopisch zu beobachten. Das Fernrohr, welches er hierbei benutzte, war ein Kometensucher von achtfacher Vergrösserung und 4° (acht Monddurchmesser) Gesichtsfeld, welches auf einem besonders zu diesem Zweck construirten Stativ so aufgestellt war,

dass es leicht in zwei bis drei Secunden auf eine beliebige Gegend des Himmels gerichtet werden konnte.

Zu der genannten Zeit zeigte sich am südlichen Himmel ein langsam sich nach Westen bewegender Lichtpunkt von der Helligkeit eines Sternes vierter Grösse. Nach 2^s hatte er bereits die Helligkeit eines Sternes zweiter Grösse und nach 4^s, im grünen Lichte strahlend, die des Sirius erreicht. Alsbald wurde das Meteor, immer nach Westen fortschreitend, so hell, dass die Sterne am Nachthimmel verschwanden und die Stadt Athen in grünem Lichte aufzulodern schien. In der 7. Secunde war der scheinbare Durchmesser des Meteors schon so gewachsen, dass


Fig. 153.



ihn Schmidt mit Rücksicht auf die sicher sehr grosse Irradiation auf 10 bis 15 Bogenminuten schätzte.

Im Ganzen war das lautlos verlaufene Phänomen 21 Secunden sichtbar und die scheinbare Länge seiner Bahn betrug 80°.

In der 7. Secunde richtete Schmidt das Fernrohr gegen das Meteor und konnte es in seiner langsamen Bewegung noch 14^s lang teleskopisch verfolgen. Es bestand aus zwei grün strahlenden Stücken von tropfenförmiger Gestalt, welche feuerrothe, ganz gerade, unter sich parallele Schweife hinter sich herzogen. Den beiden grösseren Fragmenten folgte ein ganzer Schwarm kleinerer, gleichfalls grün strahlender, deren jedes eine rothe Feuerlinie hinter sich herzog. In drei bis vier Grad Abstand von den beiden Kernen flossen alle Schweiflinien in eine rothgelbe, rauchähnliche Masse zusammen.

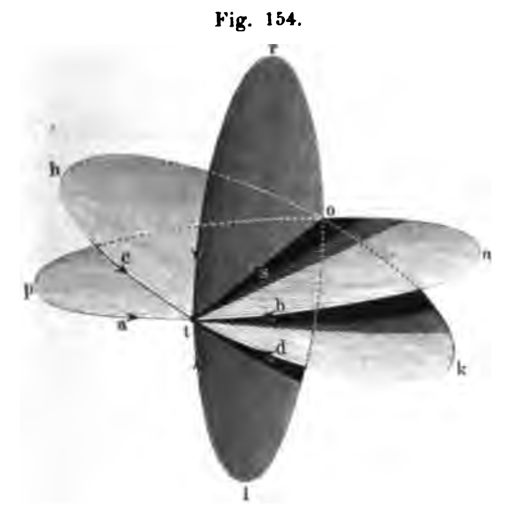
Fig. 153 ist eine Copie der colorirten Abbildung des Meteors, welche man im 48. Bande der Sitzungsberichte der Wiener Akademie findet. Nach unmittelbarer Schätzung am Fernrohre betrug der scheinbare Durchmesser des grösseren voraneilenden Kernes ungefähr 50 Bogensecunden. Da nun aber auch die Beobachtung durch das Fernrohr noch mit einer namhaften Irradiation behaftet ist, so ist klar, dass der Durchmesser des Meteors bei der Beobachtung mit unbewaffnetem Auge mindestens 12- bis 18 mal zu gross geschätzt worden ist.

98 **Kosmische Geschwindigkeit der Meteorite.** Untersuchen wir nun, wie die oben besprochenen, aus den Beobachtungen abgeleiteten Geschwindigkeiten, mit welchen die Feuerkugeln in die Atmosphäre eintreten, mit denjenigen Geschwindigkeiten übereinstimmen, welche ihnen zukommen müssen, wenn sie als kleine selbständige Massen nach

denselben Gesetzen sich um die Sonne bewegen wie die Planeten oder Kometen.

Für einen Punkt des Erdäquators ist die Geschwindigkeit, mit welcher er um die Erdaxe rotirt, 464 m in der Secunde, während die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn 30 400 m in der Secunde beträgt. Nehmen wir nun an, dass ein Meteorit in der Erdbahn selbst fortlaufe, aber in einer Richtung, welche der der Erde entgegengesetzt ist, so würden beide Körper (die Wirkung abgerechnet, welche die Anziehung der Erde auf die Meteorite ausübt) mit einer Geschwindigkeit von 60 800 m gegen einander fahren.

Fig. 154.



In Fig. 154 sei *s* die Sonne, *ptno* sei die perspectivisch dargestellte Erdbahn, in welcher die Erde *t* in der Richtung des kleinen Pfeiles bei *a* rotirt, so wird sie also mit einem Meteoriten, der ihr in der gleichen Bahn in der Richtung des kleinen Pfeiles *b* entgegen läuft, mit einer relativen Geschwindigkeit von 60 800 m zusammenstossen, während für einen Meteoriten, der in der gleichen Bahn wie die Erde und in gleicher Richtung rotirt, die relative Geschwindigkeit gleich Null wäre.

Nehmen wir dagegen an, dass der Meteorit in einem Kreise *tlor* um die Sonne liefe, welcher zwar gleichen Halbmesser mit der Erdbahn hat, dessen Ebene aber rechtwinklig auf der Erdbahn steht, so würde der Meteorit für den Fall des Zusammentreffens mit der Erde, die durch die Erde bewirkte Beschleunigung ungerechnet, mit einer Geschwindigkeit von 30 400 m auf dieselbe stürzen, welches auch die Richtung sein mag, mit welcher der Meteorit den Kreis *tlor* durchläuft.

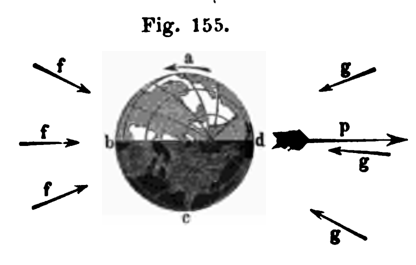
Macht aber die der Erdbahn gleiche kreisförmige Bahn des Meteoriten mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel zwischen 0 und 90 Grad, wie dies z. B. für den Kreis *tkoh* der Fall ist, so liegt die relative Geschwindigkeit, mit welcher der Meteorit auf die Erde stürzt, zwischen 0 und 30 400 m, wenn sich der Meteorit rechtläufig, also in der Richtung des kleinen Pfeiles *c* bewegt, zwischen 30 400 und 60 800, wenn die Richtung seiner Bewegung rückläufig ist, wie es der kleine Pfeil *d* andeutet.

So liessen sich also schon durch kreisförmige Bahnen der Meteorite die verschiedenen Geschwindigkeiten, mit welchen dieselben auf die Erde

stürzen, bis zu einer Geschwindigkeit von 60 800 m in der Secunde erklären.

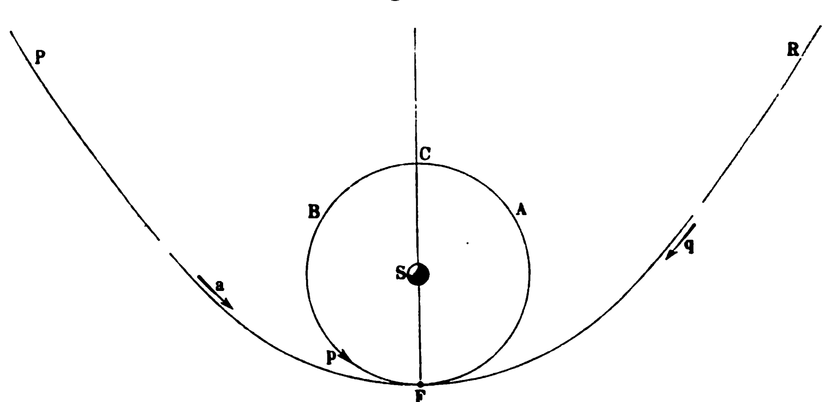
Wenn sich aber die Sache so verhielte, wie wir eben angenommen haben, wenn sich nämlich die die Erdbahn schneidenden Meteorite nahezu in kreisförmigen Bahnen mit planetarischer Geschwindigkeit bewegten, so würde die Erde der folgenden Betrachtung nach in den Abendstunden kaum von Feuerkugeln getroffen werden können, wie es doch thatsächlich der Fall ist.

Fig. 155.



In Fig. 155 stelle *abcd* die Erdkugel dar, welche von der in der Richtung von *a* nach oben stehenden Sonne beschienen, in der Richtung des kleinen Pfeiles bei *a* um ihre Axe rotirt und in der Richtung des gefiederten Pfeiles bei *p* mit einer Geschwindigkeit von 30 400 m in der Secunde fortschreitet. Die auf der Erdhälfte *abc* gelegenen Orte und namentlich die um *b* herumliegenden, für welche es gerade Abend

Fig. 156.



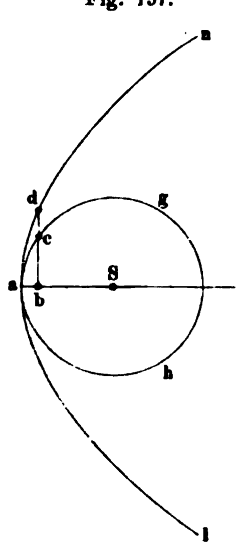
ist, werden vorzugsweise nur von solchen Meteoriten getroffen werden können, welche sich nahezu in der Richtung der kleinen Pfeile bei *f* also fast in gleicher Richtung sich bewegen, wie die Erde selbst. Die in der Richtung der Pfeile *f* sich bewegenden Meteorite würden aber die Erde gar nicht einholen können, wenn ihre Geschwindigkeit nicht grösser wäre als die der Erde, sie würden nicht als Feuerkugeln erscheinen können, wenn sie nicht mit bedeutender Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre eindrängen, wenn also ihre absolute Geschwindigkeit nicht namhaft grösser wäre als 30 400 m in der Secunde.

Die Erscheinung von Feuerkugeln in den Abendstunden beweist also, dass die Meteorite die Erdbahn mit einer mehr als planetarischen

Geschwindigkeit schneiden. Ein Himmelskörper aber, welcher ebenso weit von der Sonne entfernt, wie die Erde, und mit einer nahezu rechtwinklig zum Leitstrahl gerichteten Geschwindigkeit behaftet ist, welche die Geschwindigkeit der Erde bedeutend übertrifft, muss nothwendig eine sehr langgestreckte Ellipse oder eine Parabel oder auch eine Hyperbel beschreiben.

In Fig. 156 sei S die Sonne, ABF die kreisförmige Bahn der Erde. Der kleine Pfeil bei p bezeichne die Richtung, in welcher die Erde in ihrer Bahn fortläuft. Wenn nun F das Perihel für irgend einen in elliptischer Bahn um die Sonne laufenden Körper ist, so wird dessen Geschwindigkeit in F grösser sein, als die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn, also grösser als 30400 m in der Secunde. Je grösser aber die Geschwindigkeit ist, mit welcher der fragliche Körper das Perihel bei F passirt, desto grösser wird die grosse Axe der Ellipse sein, welche er beschreibt.

Fig. 157.



Diese grosse Axe wird unendlich, d. h. die Ellipse geht in eine Parabel über, wenn sich die Geschwindigkeit des fraglichen Körpers zu der der Erde verhält wie $1 : \sqrt{2}$. Wenn sich also ein Körper in einer parabolischen Bahn um die Sonne bewegt, deren Periheldistanz gleich dem Halbmesser der Erdbahn ist, so wird dieser Körper das Perihel mit einer Geschwindigkeit passiren, welche

$$30400 \,.\, \sqrt{2} = 43107 \text{ m}$$

beträgt und dies ist das Maximum der Geschwindigkeit, mit welcher sich nach den Gravitationsgesetzen ein Weltkörper bewegen kann, wenn er sich in gleichem Abstande von der Sonne befindet wie die Erde, seine Bahn müsste denn eine hyperbolische sein.

Dass die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn sich wie 1 zu $\sqrt{2}$ zu der Geschwindigkeit verhält, mit welcher ein in parabolischer Bahn sich bewegender Weltkörper sein Perihel passirt, wenn die Periheldistanz gleich dem Abstande der Erde von der Sonne ist, lässt sich folgendermaassen beweisen.

Es sei agh (Fig. 157) die kreisförmige Bahn, welche die Erde um die Sonne beschreibt, lan aber sei die parabolische Bahn eines Meteoriten, welcher in a die Erdbahn tangirend in a zugleich sein Perihel hat; ferner stelle ab den Raum dar, um welchen ein in a befindlicher Körper in der Zeiteinheit gegen die Sonne in S fallen würde, wenn er nicht mit einer bestimmten Tangentialgeschwindigkeit in a ankäme, so ist bc die rechtwinklig gegen at gerichtete Tangentialgeschwindigkeit, mit welcher ein Körper den Punkt a passiren muss, wenn er den Kreis

agh, und *bd* ist die Geschwindigkeit, mit welcher er den Punkt *a* passiren muss, wenn er die Parabel *lan* beschreiben soll. Nun aber ist die Gleichung des Kreises

$$y^2 + (x - r)^2 = r^2$$

oder

$$y^2 = (2r - x)\,x \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn man *a* zum Anfangspunkt der Coordinaten und die Linie *at* zur Abscissenaxe (Axe der x) nimmt. Die Gleichung der Parabel aber ist

$$y_1^2 = 4rx \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

wenn wir die Parabelordinaten zum Unterschied von den Kreisordinaten mit y_1 bezeichnen.

So lange die Abscisse x (also ab) sehr klein, also auch verschwindend klein gegen r ist, geht die Gleichung 1) über in

$$y^2 = 2rx \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

es ist also auch für hinlänglich kleine Werthe von x

$$y_1^2 = 2y^2$$
$$y_1 = y\sqrt{2}$$
$$bd = bc\sqrt{2}.$$

Es sei nun *PFR* (Fig. 156) die parabolische Bahn, deren Periheldistanz *SF* gleich dem Halbmesser der Erdbahn ist; wenn die Ebene dieser Bahn mit der Ebene der Erdbahn zusammenfällt, so würde Erde und Meteorit für rückläufige Bewegung des letzteren (Pfeil bei *q*) in *F* mit einer relativen Geschwindigkeit zusammenstossen, welche gleich ist

$$30\,400 + 43\,107 = 73\,507 \text{ m}$$

in der Secunde, eine Geschwindigkeit, welche durch die anziehende Wirkung, welche die Erde auf den Meteoriten ausübt, noch gesteigert wird, so dass das Maximum der Geschwindigkeit, welches Petit aus Beobachtungen abgeleitet hat, seine volle Erklärung findet.

Wenn sich der Meteorit in der Parabel *PFR* rechtläufig, also in der Richtung des kleinen Pfeiles *a* bewegt, so würde die relative Geschwindigkeit beim Zusammenstoss in *F*

$$43\,107 - 30\,400 = 12\,707 \text{ m sein.}$$

Für den Fall, dass die parabolischen Bahnen der Meteorite nicht mit der Ebene der Erdbahn zusammenfielen, sondern dass, wie es wohl stets der Fall ist, die Ebene der Parabel einen mehr oder minder grossen Winkel mit der Ebene der Erdbahn macht (in ähnlicher Weise, wie wir es oben für kreisförmige Bahnen betrachtet haben), wird dann die relative Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite auf die Erde stürzen, zwischen den beiden Grenzwerthen von 12 707 und 73 507 m liegen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite in die Atmosphäre eindringen, wird allerdings durch die Anziehung, welche die Erde auf sie ausübt, etwas, aber verhältnissmässig doch nur wenig, beschleunigt.

Ebenso bringt die Anziehung der Erde eine meist gleichfalls unbedeutende Ablenkung der Meteorite von ihrer Bahn hervor, welche nur für diejenigen merklich wird, welche ohne diese Anziehung die Erdatmosphäre nur gestreift haben würden.

Die Lichterscheinung der Meteorite. Durch die enorme 99
Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite in die Erdatmosphäre eindringen, erklärt sich nun auch die Lichterscheinung, durch welche sie uns sichtbar werden. Trotz der grossen Verdünnung der Luft in den höheren Regionen ist nämlich der Widerstand, welcher sich dem Eindringen der Meteorite in die Atmosphäre entgegenstellt, so bedeutend, dass dieselben alsbald ihre kosmische Geschwindigkeit verlieren. Der Verlust an lebendiger Kraft, welchen die Aërolithen auf diese Weise erleiden, ist aber nothwendig von einer entsprechenden Wärmeentwickelung begleitet, welche vollkommen hinreichend ist, sie bis zum lebhaften Weissglühen zu erhitzen, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt.

Es sei m die Masse der Luft, welche der Meteorit in einer Secunde verdrängt, und v die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher er sich während dieser Secunde bewegt, welche er also der verdrängten Luftmasse m mittheilen musste, so ist die Arbeitsleistung, welche dem Verlust des Meteoriten an lebendiger Kraft entspricht,

$$A = m \frac{v^2}{2g},$$

wenn g die beschleunigende Kraft der Schwere auf der Erde, also 9,8 m ist. Für m haben wir aber den in Kilogrammen ausgedrückten Werth

$$m = f \,.\, l \,.\, \delta,$$

wenn

- f den auf seiner Bahn rechtwinkligen Querschnitt des Projectils in Quadratdecimetern ausdrückt,
- l den in Decimetern ausgedrückten Weg des Projectils in 1^s (also $l = 10\,v$) und
- δ die mittlere Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschicht

bezeichnet. Wir haben also

$$m = f\delta\, 10 \,.\, v$$

und

$$A = f\delta\, 10\, v \frac{v^2}{2g}$$

oder

$$A = f\delta \frac{v^3}{2},$$

wenn wir g in runder Zahl gleich 10 setzen.

Nehmen wir an, die mittlere Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschicht sei 10 000mal geringer, als die Dichtigkeit der Luft am Meeresspiegel, so ist $\delta = 0{,}00000013$ (Wasser gleich 1 gesetzt). Nehmen wir ferner $v = 30\,000$ m und $f = 1$ qdm, so ergiebt sich

$$m = 0{,}039 \text{ kg und}$$
$$A = 1\,755\,000 \text{ mkg.}$$

Der mechanischen Arbeit A entspricht aber die Entwickelung von

$$w = \frac{A}{424} = 3903 \text{ Wärmeeinheiten},$$

wobei freilich vorausgesetzt ist, dass der Meteorstein rechtwinklig zu seiner Bewegungsrichtung durch eine ebene Fläche begrenzt ist. Ist er dagegen nach dieser Seite hin durch eine sphärische oder conische Oberfläche begrenzt, so ist der zu überwindende Luftwiderstand freilich kleiner, als er oben angenommen wurde, dagegen wird aber auch der Meteorstein beim Eindringen in die Atmosphäre auf seinem 30 000 m langen Wege sehr bald zu Luftschichten kommen, welche bedeutend dichter sind, als es bei obiger Rechnung angenommen wurde.

Um nun zu berechnen, welche Temperaturerhöhung durch die oben bestimmte Wärmeentwickelung erzeugt wird, haben wir die Gleichung

$$MSt + mst = w$$

oder

$$t = \frac{w}{MS + ms},$$

wenn t die fragliche Temperaturerhöhung, M die Masse und S die specifische Wärme des Meteoriten, m die Masse und s die specifische Wärme der verdrängten Luftsäule bezeichnet, wobei noch ferner vorausgesetzt ist, dass die gesammte Wärmeentwickelung w nur der Temperaturerhöhung des Steines und der verdrängten Luftmasse zu Gute kommt.

Ist der Meteorstein ein Silicat, so können wir für S nahezu den Werth 0,2 setzen. Den gleichen Werth dürfen wir ohne merklichen Fehler (da es sich hier ja ohnehin nicht um genaue Bestimmungen handeln kann) auch für s in Rechnung bringen. Ferner können wir annehmen, dass die Masse M des Meteoriten bei 1 qdm Querschnitt ungefähr 3 kg beträgt. Setzen wir nun diese Werthe von M, S und s und die oben berechneten Werthe für w und m in die letzte Gleichung, so kommt

$$t = 6398^{0}\,\text{C}.$$

Schon die Hälfte, ja der vierte Theil dieser Temperaturerhöhung würde hinreichen, den Meteoriten in die hellste Weissgluth zu versetzen und ihn zu schmelzen.

Wenn die obigen Entwickelungen auch nicht entfernt Anspruch auf Genauigkeit machen, so genügen sie doch vollständig, um darzuthun, dass der Widerstand der Luft, welchen die mit planetarischer Geschwindigkeit in die Erdatmosphäre eindringenden Meteorite zu überwinden haben, im Stande ist, sie bis zur Weissgluth zu erhitzen und dass man nicht nöthig hat, anzunehmen, dass die Meteorite mit einer Hülle brennbarer Gase umgeben seien, welche sich beim Eindringen in die sauerstoffhaltige Erdatmosphäre entzünden.

Aus den obigen Betrachtungen geht wenigstens mit Sicherheit hervor, dass die kleinen, mit grosser Geschwindigkeit in die Atmosphäre

eintretenden Meteorite durch den Luftwiderstand zu einer Temperatur erhitzt werden, welche nicht allein ihre glänzende Erscheinung erklärt, sondern welche auch hinreicht, ihre völlige Zerstörung und Auflösung zu bewirken. Nur grössere und mit geringerer Geschwindigkeit ankommende Massen werden bis in die tieferen Schichten der Atmosphäre eindringen und hier entweder ebenfalls vollständig aufgelöst oder nur theilweise zerstört, so dass ihre Reste als Aërolithen auf die Erde fallen.

Die Atmosphäre bildet also eine Art von Panzer, durch welchen die Erde vor Meteorsteinfällen geschützt wird; ohne dieselbe wären wir einem höchst verderblichen Bombardement ausgesetzt.

Der Luftwiderstand erklärt auch, zum Theil wenigstens, die Erscheinung, dass Feuerkugeln oft von ihrer geraden Bahn abbiegen und oft sogar zurücklaufen; bei unregelmässiger Gestalt der Aërolithen kann ein solches Zurücklaufen in ähnlicher Weise erfolgen, wie bei dem unter dem Namen des Bumerangs bekannten Wurfinstrument der Australier.

Sternschnuppen. Während, wie schon erwähnt wurde, die 100
Meteorite oder Feuerkugeln sich in der Regel in hyperbolischen Bahnen um die Sonne bewegen, sind die Bahnen der Sternschnuppen, soweit man sie hat berechnen können, Parabeln oder Ellipsen von grosser Excentricität. Sie unterscheiden sich ferner von den Meteoriten dadurch, dass sie immer schon in den oberen Schichten der Atmosphäre, ohne merklichen Niederschlag zu hinterlassen, verbrennen, und selbst bei den grössten Sternschnuppenfällen hat man nicht bemerkt, dass irgend welche Körper bis zu der Oberfläche der Erde gelangen. Früher hat man zwar bisweilen gallertartige Massen, welche aus der Luft herniederfielen, für Sternschnuppen gehalten, indessen ist es höchst wahrscheinlich, dass dies organische Stoffe, und zwar Auswürfe von Vögeln, namentlich Störchen, gewesen sind.

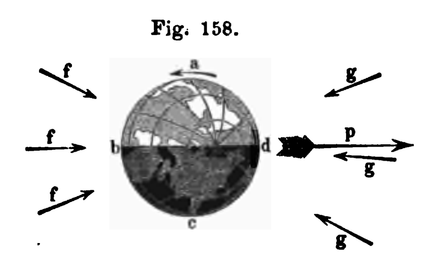
Es vergeht wohl kaum eine Nacht, in welcher man bei heiterem Himmel nicht mehrere Sternschnuppen beobachtet, und zwar erscheinen zur Mitternachtszeit in einer Stunde durchschnittlich vier bis fünf, nach anderen Beobachtern sechs bis acht Sternschnuppen. Vor Mitternacht erscheinen sie etwas spärlicher, nach Mitternacht etwas häufiger, und zwar am häufigsten gegen 3 Uhr Morgens.

Man hat dies, unter Voraussetzung einer nur quantitativen, aber nicht qualitativen Verschiedenheit der Feuerkugeln und Sternschnuppen, auf folgende Weise zu erklären versucht. In Fig. 158 (a. f. S.) stelle *abcd* die Erdkugel dar, welche von der nach oben hin befindlichen Sonne beschienen wird, so dass auf der einen Erdhälfte *dab* Tag, auf der anderen *bcd* aber Nacht ist. Die Erde rotirt um ihre Axe in der Richtung des kleinen Pfeiles bei *a*, während sie in ihrer Bahn in der Richtung des grossen Pfeiles bei *p* fortläuft. Die rechtläufig, also ungefähr parallel der Richtung der kleinen Pfeile bei *f*, aber schneller als die Erde sich bewegenden Meteorite werden die Erdhälfte *abc*

treffen, während die rückläufig, also nahezu parallel der Richtung der kleinen Pfeile bei *g*, im Weltraume fortlaufenden Meteorite die andere Erdhälfte *cda* treffen. Da nun aber die mit grösserer Geschwindigkeit auf die Erde eindringenden rückläufigen Meteorite schon in den höheren Luftregionen ins Glühen kommen, also vorzugsweise Sternschnuppen erzeugen, so werden sich, gleiche Vertheilung der Meteorite nach den verschiedenen Bewegungsrichtungen vorausgesetzt, die zahlreichsten Sternschnuppen an den Orten der Erde zeigen müssen, welche sich eben zwischen *c* und *d* befinden, welche also bereits in die zweite Hälfte der Nacht eingetreten sind. Die Orte zwischen *b* und *c*, für welche die Nacht noch nicht bis zur Mitternachtsstunde vorgeschritten ist, werden dagegen von Meteoriten rechtläufiger Bewegungsrichtung getroffen, welche ihrer geringeren relativen Geschwindigkeit zur Erde wegen erst in tieferen Luftregionen zum Glühen kommen, also mehr Feuerkugeln und Meteorsteinfälle liefern.

Man kann aber, ohne Voraussetzung der gleichen Natur der Sternschnuppen und Feuerkugeln, zu dem gleichen Resultate auch durch folgende Betrachtung kommen. Wäre die Erde unbeweglich im Weltraume, während die Meteorite von allen Seiten her mit gleicher Häufigkeit auf dieselbe eindringen, so würden alle Theile der Erdoberfläche auch in gleichmässiger Weise getroffen werden, die Häufigkeit der Sternschnuppen müsste für alle Stunden der Nacht die gleiche sein.

Fig. 158.



Ständen dagegen die Meteorite unbeweglich im Weltraume, während die Erde in ihrer Bahn fortläuft, so würden alle Stösse nur auf der vorderen Halbkugel (*cda* in Fig. 158) erfolgen, die in der Richtung der Erdbewegung liegt. Unter diesen Umständen würden also Sternschnuppen überhaupt nur an denjenigen Orten der Erdoberfläche erscheinen können, für welche der Ort des Himmelsgewölbes, nach welchem sich die Erde eben hinbewegt, über dem Horizont ist.

Diesen Punkt nennt Schiaparelli den Apex, während Andere ihn als Fliehpunkt bezeichnet haben. Zur Zeit des Sommersolstitiums liegt der Apex im Sternbilde der Jungfrau, zur Zeit des Wintersolstitiums aber liegt er im Sternbilde der Fische. Der Apex liegt im Sternbilde der Zwillinge zur Zeit des Frühlings- und im Sternbilde des Schützen zur Zeit des Herbstäquinoctiums.

Befänden sich also die Meteorite unbeweglich im Weltraume, während die Erde in ihrer Bahn fortläuft, so könnten Sternschnuppen nur an solchen Orten erscheinen, für welche der Apex über dem Horizont steht, und zwar würde ihre Häufigkeit mit der Höhe des Apex über dem Horizont zunehmen.

Da nun aber keiner der eben besprochenen Grenzfälle stattfindet, sondern Erde und Meteorite sich im Weltraume bewegen, so wird auch in Beziehung auf die Erscheinung der Meteore ein Mittelzustand eintreten, die Häufigkeit der Sternschnuppen wird im Allgemeinen mit der Erhebung des Apex über den Horizont zunehmen müssen.

So erklärt sich denn auch die Thatsache, dass ausser der täglichen auch noch eine jährliche Periode der Sternschnuppen auftritt, indem dieselben im Allgemeinen in den Herbstmonaten am häufigsten erscheinen, denn in den Herbstmonaten steht der Apex in den Morgenstunden hoch über dem Horizont, während er sich im Frühling in den Morgenstunden nicht hoch über denselben erhebt.

Die periodischen Sternschnuppenfälle. Eine höchst merkwürdige Erscheinung sind die periodisch wiederkehrenden Sternschnuppenschwärme, welche man in der Zeit vom 12. bis 14. November und am 10. August (dem Feste des heiligen Laurentius) beobachtet; das letztere Phänomen wird in England schon in einem alten Kirchenkalender unter dem Namen der feurigen Thränen des heiligen Laurentius als eine wiederkehrende Erscheinung erwähnt. 101

Durch Humboldt wurde die Aufmerksamkeit auf das Novemberphänomen gelenkt, indem er nachwies, dass dasselbe im Jahre 1799 in Amerika mit überraschender Pracht auftrat und vom Aequator bis nach Grönland sichtbar war. Es war ein förmlicher Regen von Sternschnuppen. Erst im Jahre 1832 wiederholte sich die Erscheinung in ähnlicher Weise, wie man sie 1799 beobachtet hatte, im Jahre 1833 aber entwickelte sie sich in einer Grossartigkeit, welche alle früheren Erscheinungen des Novemberschwarmes weit übertraf. Auch diesmal blieb die Erscheinung auf Nordamerika beschränkt. Die Sternschnuppen schienen fast wie Schneeflocken zusammengedrängt, so dass innerhalb neun Stunden ihrer über 300 000 fielen.

Olmstedt machte bei Gelegenheit des Sternschnuppenfalles im November 1833 die wichtige Entdeckung, dass die meisten dieser Meteore von einem und demselben Punkte des Himmels auszustrahlen scheinen, d. h. wenn man in einer Sternkarte oder noch besser auf einem Himmelsglobus die scheinbaren Bahnen der beobachteten Sternschnuppen einzeichnet, so bilden sie meist gerade Linien, die von einem und demselben Punkte, dem Radiationspunkte, aus divergiren. Nach Olmstedt's Beobachtungen beträgt die Rectascension des Radiationspunktes für die Sternschnuppen des 13. November 150^0 und seine nördliche Declination 21^0, er liegt also ganz in der Nähe des Sternes γ im grossen Löwen. Nach späteren genaueren Bestimmungen liegt der Radiationspunkt des Novemberschwarmes bei ε Leonis.

Nach der Vermuthung von Olbers soll die Erscheinung des Maximums des Novemberphänomens an eine Periode von 34 Jahren gebunden sein, während der amerikanische Astronom H. A. Newton aus der

Vergleichung älterer Nachrichten über Sternschnuppenfälle eine Periode von 33 Jahren abgeleitet hatte. Demnach hatte man in den Morgenstunden des 14. November 1866 wieder eine massenhafte Erscheinung von Sternschnuppen zu erwarten.

In Folge dieser Vorhersagung hatte man sich an vielen Orten auf die Beobachtung der Erscheinung gerüstet, und in der That zeigte sie sich in Europa, soweit nicht die ungünstige Witterung die Beobachtung hinderte, sehr brillant. Von den vielen darüber eingelaufenen Berichten wollen wir nur anführen, dass man in Greenwich

zwischen 12 und 1 Uhr . . .	2032	Sternschnuppen
„ 1 „ 2 „ . . .	4860	„
„ 2 „ 3 „ . . .	832	„

zählte. Zu Berlin beobachtete man um

1 Uhr 50 Minuten . . .	43	„
2 „ — „ . . .	55	„
2 „ 10 „ . . .	48	„

in der Minute. Merkwürdig ist es jedenfalls, dass an allen Beobachtungsorten Europas das Maximum der Sternschnuppenzahl sehr nahe gleichzeitig auftrat, nämlich kurz nach 2 Uhr Berliner Zeit.

In Amerika scheint das Phänomen im Jahre 1866 weniger glänzend gewesen zu sein als in Europa. Im Jahre 1867 sowohl als auch 1868 ist das Novemberphänomen wieder in ungewöhnlicher Entfaltung beobachtet worden. Im Jahre 1867 kam dieser Schwarm namentlich wieder in Nordamerika in der glänzendsten Weise zur Erscheinung, obgleich der helle Mondschein die Beobachtung störte.

In den Jahren 1866, 1867 und 1868 hat man an verschiedenen Beobachtungsorten den Radiationspunkt des Novemberschwarmes zu bestimmen gesucht und ist zu Resultaten gekommen, welche alle nahezu mit dem bereits von Olmstedt ermittelten zusammenfallen, woraus sich dann ergiebt, dass die gerade Linie, welche man von dem Sterne ε Leonis zu der Stelle gezogen denken kann, welche die Erde in der Nacht vom 13. auf den 14. November passirt, nahezu die relative Richtung angiebt, in welcher die Meteorite des Novemberschwarmes auf die Erde einzudringen scheinen.

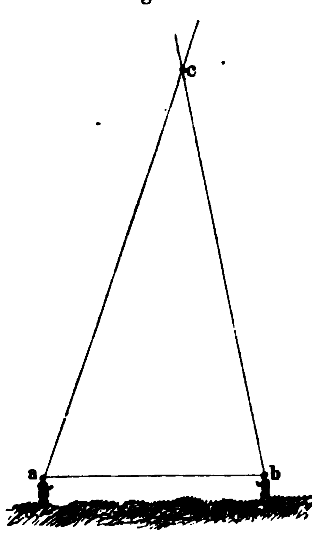
Der Radiationspunkt der Sternschnuppen des 10. August ist nach den Beobachtungen von Heis, der sich überhaupt um die Erforschung der Sternschnuppen hervorragende Verdienste erworben hat, der Stern Algol im Perseus, weshalb Schiaparelli die Augustmeteore mit dem Namen der Perseiden bezeichnet. Dieser Bezeichnung entsprechend, hat man die Meteorite des Novemberschwarmes Leoniden genannt.

Uebrigens hat Heis gefunden, dass unter den Sternschnuppen des Novemberschwarmes sowohl wie auch unter denen des Augustschwarmes auch solche vorkommen, welche anderen Radiationspunkten zugehören, als die oben genannten und dass es auch für minder dichte Sternschnuppenschwärme anderer Zeiten solche Radiationspunkte giebt.

Die Erscheinung der Sternschnuppen im August zeigt wesentliche Unterschiede von denen des November, welche Boguslawski in folgender Weise charakterisirt. 1) Das Augustphänomen zeigt in der Regel mehrere Tage vor und nach dem Maximum der Erscheinung seine Ankunft durch eine grössere Anzahl von Sternschnuppen an, während das Novemberphänomen fast immer plötzlich eintritt. 2) Die Intensität der Erscheinung ist bei den Meteoren des August weit geringeren Schwankungen unterworfen als das Novemberphänomen und diesem fast immer an Pracht und Fülle überlegen, ausser bei den Maximis des letzteren, welche alle 33 bis 34 Jahre auftreten.

Um die Höhe zu bestimmen, in welcher die Sternschnuppen aufblitzen und erlöschen, brachte Heis in den Jahren 1851 und 1854 mit Vortheil den elektrischen Telegraphen zu correspondirenden Sternschnuppenbeobachtungen in Anwendung. Nach den correspondirenden Beobachtungen, welche im Jahre 1866 während des Novemberschauers zu Berlin und Brandenburg angestellt wurden, betrug die mittlere Höhe des Aufleuchtens 20, die des Verschwindens 11 geographische Meilen. Aus dem ihm zugegangenen Material über die Novembermeteore berechnete Heis die mittlere Höhe beim Aufleuchten zu 15, die beim Erlöschen zu 8 Meilen. Nach den zu Richmond und Washington angestellten correspondirenden Beobachtungen ergab sich die mittlere Höhe von 25 Meilen für das Aufleuchten und 11 Meilen für das Erlöschen. Seit 1862 hat Secchi für die correspondirenden Beobachtungen zu Rom und Civita Vecchia, welche Orte $8^3/_4$ Meilen von einander entfernt sind, gleichfalls den elektrischen Telegraphen in Anwendung gebracht. Es ergab sich aus diesen Beobachtungen, dass für die in der Nähe des Zeniths auftretenden Sternschnuppen die Parallaxe nicht unter 20 bis 30 Grad betrug. Stellt also in Fig. 159 *a* einen Beobachter in Rom, *b* einen solchen in Civita Vecchia dar, während *c* das von beiden gleichzeitig beobachtete Meteor ist, so war der Winkel *acb*, unter welchem sich die von *a* und *b* nach dem Meteor bei *c* gerichteten Visirlinien schnitten, nicht kleiner als 20 bis 30 Grad; daraus aber folgt, dass die Höhe der Meteore über dem Boden höchstens 25 Meilen betrug.


Fig. 159.



Aus der scheinbaren Bahn einer Sternschnuppe (stella cadente, wie die Italiener sehr bezeichnend sagen) und der Zeitdauer, welche sie braucht, um diese Bahn zu durchlaufen, kann man die wahre Länge des leuchtend

durchlaufenen Weges und ihre wahre Geschwindigkeit berechnen, vorausgesetzt, dass die Entfernung des Meteors vom Beobachter bekannt ist. Die Zeit vom Aufleuchten einer Sternschnuppe bis zu ihrem Erlöschen beträgt im Durchschnitt nur $^1/_2$ Secunde, der (für eine mittlere Höhe von 15 Meilen) berechnete wahre Weg ergiebt sich im Durchschnitt gleich 40 000 bis 60 000 m, also eine Geschwindigkeit von 80 000 bis 120 000 m in der Secunde, eine Geschwindigkeit, welche die oben auf Seite 258 besprochene parabolische Geschwindigkeit weit übersteigt, was aber wohl nur daher rührt, dass man entweder die Dauer der Erscheinung zu kurz oder die scheinbare Bahn zu lang geschätzt hat. Jedenfalls geht daraus hervor, dass die wahre Geschwindigkeit, mit welcher die Sternschnuppen in die Erdatmosphäre eintreten, nicht merklich geringer ist als die parabolische Geschwindigkeit.

Aus der beobachteten Lichtstärke einer Sternschnuppe kann man auf ihre Masse schliessen, wenn ihre Entfernung bekannt ist. A. Herschel hat dies für einige Sternschnuppen ausgeführt, welche gleichzeitig an verschiedenen Orten Englands in den Nächten vom 9. und 10. August 1863 beobachtet worden waren, und folgende Resultate gefunden:

Glanz wie Jupiter . . .	2996	Gramm,
„ „ Sirius	358	„
„ „ Wega	29	„
„ „ α Persei . . .	6	„

Da die Lichtstärke der meisten Sternschnuppen aber weit unter dem der oben angeführten hellen Gestirne steht, so wird ihre Masse auch nur Bruchtheile eines Grammes betragen. Die Dichtigkeit der Meteorschwärme, selbst zu Zeiten, wo sie das Maximum der Sternschnuppen liefern, ist immerhin eine äusserst geringe. Nach den Berliner Beobachtungen des Novemberschwarmes von 1867 beträgt für die Zeit des Maximums der Sternschnuppenzahl der Abstand je zweier benachbarter Meteore 15 bis 20 geographische Meilen und nach den in demselben Jahre zu Washington und Richmond angestellten Beobachtungen des Sternschnuppenfalles vom 13. auf den 14. November kommt je ein Meteor auf einen Raum von ungefähr 14 000 (geographischen) Cubikmeilen.

102 **Die Bahnen der Sternschnuppen im Weltraume.** Um die periodischen Sternschnuppenfälle zu erklären, muss man annehmen, dass die entsprechenden Meteoritenschwärme geschlossene Ringe bilden, in welchen sie nach den Kepler'schen Gesetzen um die Sonne laufen und welche an bestimmten Stellen die Erdbahn schneiden. Früher nahm man an, dass diese Meteoritenbahnen planetarischer Natur, dass sie also wenig excentrische Ellipsen seien. Genauere Untersuchungen haben aber gezeigt, dass diese Annahme unhaltbar sei, indem die Geschwindigkeit, mit welcher die Meteorite der Erde begegnen, eine viel bedeutendere ist, als sie nach der planetarischen Hypothese sein könnte.

Genauere Untersuchungen haben nun gezeigt, dass die Bahnen der Meteoriten, welche uns die periodischen Sternschnuppen bringen, langgestreckte Ellipsen sind, welche die Erdbahn in einem ihrem Perihel nahen Punkte schneiden und welche ihrer ganzen Ausdehnung nach mehr oder minder dicht mit Meteoriten besetzt sind.

Wie wir aber bereits in §. 88 gesehen haben, fällt eine sehr excentrische elliptische Bahn in der Nähe ihres Perihels so nahe mit der parabolischen des gleichen Brennpunktes und des gleichen Perihels zusammen, dass man an dieser Stelle ohne merklichen Fehler die Parabel für die Ellipse substituiren, also als erste Annäherung eine parabolische Bahn der Meteoriten berechnen kann.

Eine Parabel ist bestimmt, wenn ihr Brennpunkt, ein Punkt der Curve und die Richtung der Tangente gegeben ist, welche in diesem Punkte die Parabel berührt. Diese Data lassen sich nun in der That, parabolische Bahnen überhaupt vorausgesetzt, für die bei periodischen Sternschnuppenfällen auf die Erde stürzenden Meteorite ermitteln. Die Sonne nämlich bildet den Brennpunkt der parabolischen Bahn; ein Punkt derselben ist die Stelle, welche die Erde zu der Zeit einnimmt, in welcher der Sternschnuppenschwarm dieselbe trifft. Die Richtung der diesem Punkte der Meteoritenbahn entsprechenden Tangente ergiebt sich, wenn der Radiationspunkt für den Sternschnuppenfall bekannt ist. Eine vom Radiationspunkte zu der Stelle gezogene Linie, welche die Erde in dem fraglichen Momente einnimmt, ist die Richtung, in welcher die Meteorite auf die Erde zu stürzen scheinen, es ist die Richtung der relativen Bewegung der Meteorite gegen die Erde. Aus dieser relativen Richtung kann man aber die absolute Richtung im Weltraume bestimmen, in welcher sie auf die Erde treffen.

In Fig. 160 (a. f. S.) sei z. B. S die Sonne, abc die perspectivisch gezeichnete Erdbahn, auf welcher die Stellen bezeichnet sind, in welchen sich die Erde zu Anfang eines jeden Monats befindet. In a befindet sie sich zur Zeit des Sommer-, in c zur Zeit des Wintersolstitiums, in b aber zur Zeit des Herbstäquinoctiums. Mit o und g sind die Stellen bezeichnet, welche die Erde zur Zeit des August- und des Novemberphänomens passirt. Der durch den Punkt g gelegte grosse Pfeil giebt die Richtung der Tangente an, welche man sich im Punkte g an die parabolische Bahn der Novembermeteore gelegt denken kann. Die durch die Sonne S und den Pfeil g gelegte Ebene ist die Ebene der Bahn der Novembermeteorite, von welcher in unserer Figur nur das Stück pgr gezeichnet ist.

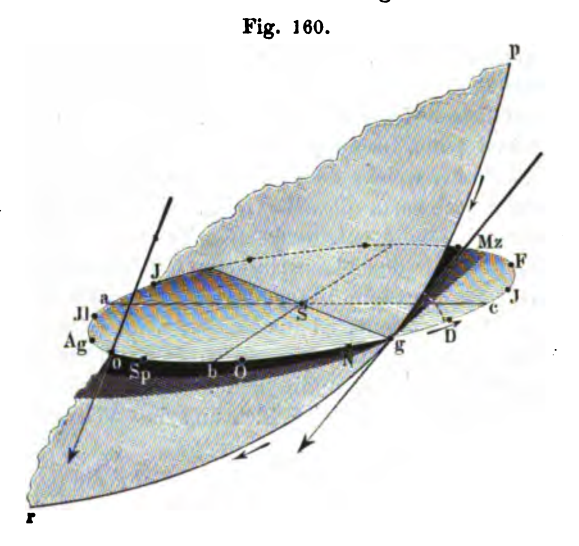
In gleicher Weise stellt der durch o gelegte Pfeil die Richtung dar, in welcher die Meteorite des Augustphänomens den Punkt o der Erdbahn passiren.

Folgendes sind nach Schiaparelli's Rechnung die Elemente der parabolischen Bahn der Perseiden:

Länge des Perihels	343° 38′
Länge des aufsteig. Knotens .	138° 16′
Neigung der Bahn	64° 3′
Periheldistanz	0,964
Bewegung	rückläufig.

Da das Augustphänomen in jedem Jahre mit nahezu gleicher Intensität auftritt, so müssen wir annehmen, dass die Bahn der Perseiden ihrer ganzen Ausdehnung nach gleich dicht mit Meteoriten besetzt sein muss. Anders verhält es sich mit dem Novemberschauer, für welchen nach 33,25 Jahren ein Maximum der Intensität auftritt. Es deutet dies darauf hin, dass eine Stelle des elliptischen Ringes weit dichter mit Meteoriten besetzt sein muss, als der übrige Theil desselben, und da

Fig. 160.



diese dichtere Stelle nach je 33,25 Jahren wieder zum Perihel zurückkehrt, so ist dadurch die Umlaufszeit der Leoniden gegeben.

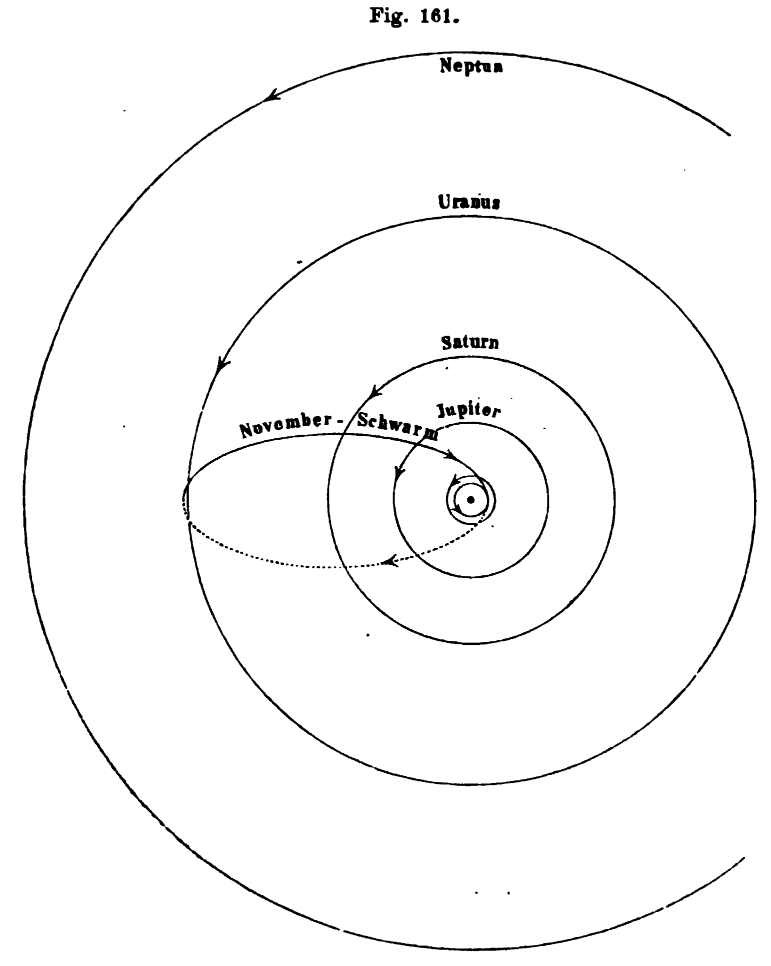
Ist aber ausser den Daten, deren man bedarf, um eine parabolische Bahn für einen Meteoritenschwarm zu berechnen, auch noch die Umlaufszeit desselben bekannt, wie dies für den Novemberschwarm wirklich der Fall ist, so lässt sich nach derselben die elliptische Bahn des Schwarmes berechnen. So sind nach Schiaparelli's Berechnung Folgendes die Elemente der elliptischen Bahn des Novemberschwarmes:

Periheldurchgang 1866	November	10,1
Durchg. durch den niederst. Knoten	„	13,5
Länge des Perihels		56° 25′
Länge des aufsteigenden Knotens		231° 28′
Neigung der Bahn		17° 44′
Periheldistanz		0,9873

Excentricität	0,9046
Halbe grosse Axe	10,34
Umlaufszeit	33,25 Jahre
Bewegung	rückläufig.

Die Apheldistanz des Novemberschwarmes beträgt demnach 19,69 Erdweiten, sie ist also nur um weniges grösser, als die Entfernung des Uranus

Fig. 161.



von der Sonne. Nach den obigen Daten ist in Fig. 161 die Projection der Bahn des Novemberschwarmes auf die Ebene der Ekliptik gezeichnet, und zwar ist der Theil der Bahn punktirt, welcher südlich von der Ebene der Ekliptik, oder, wie wir sagen wollen, unter derselben liegt. Während also der Novemberschwarm in seinem niedersteigenden Knoten ganz nahe seinem Perihel die Erdbahn schneidet, liegt sein aufsteigender Knoten

sowohl wie auch sein Aphel der Uranusbahn sehr nahe; dagegen geht der Novemberschwarm weit über und unter der Saturns- und Jupitersbahn her. Wir sehen also, dass die Bahnen der Sternschnuppen in unserem Sonnensystem ganz gleicher Art mit den Kometenbahnen sind, nämlich parabolische Bahnen oder langgestreckte Ellipsen, deren Ebenen nicht immer in der Nähe der Ekliptik liegen, wie dies für die Planetenbahnen der Fall ist, sondern bedeutende Winkel mit derselben machen. Ferner sehen wir, dass die Bewegung der Sternschnuppen in ihren Bahnen rückläufig sein kann, wie dies auch bei den Kometen häufig der Fall ist, während alle Planeten sich nur rechtläufig um die Sonne bewegen.

Die Verwandtschaft zwischen Meteoriten und Kometen tritt aber noch augenscheinlicher dadurch hervor, dass Schiaparelli nachgewiesen hat, dass die Bahnelemente der Perseiden fast ganz genau mit denen des Kometen III vom Jahre 1862 übereinstimmen. Die Bahnelemente jenes Kometen sind nämlich:

Periheldurchgang	August 22,9
Länge des Perihels	344^0 41′
Länge des aufsteigenden Knotens . . .	137^0 27′
Neigung der Bahn	66^0 25′
Periheldistanz	0,9626
Bewegung	rückläufig.

Auf Grund dieser überraschenden Uebereinstimmung schloss Schiaparelli auf einen physischen Zusammenhang zwischen dem Kometen III von 1862 und den Perseiden.

Da man für den Kometen III von 1862 eine Umlaufszeit von 123 Jahren berechnet hat, so dürfte dies wohl auch die Umlaufszeit der Perseiden sein, welche sich aus Mangel eines periodisch wiederkehrenden Maximums der Intensität nicht unmittelbar bestimmen liess.

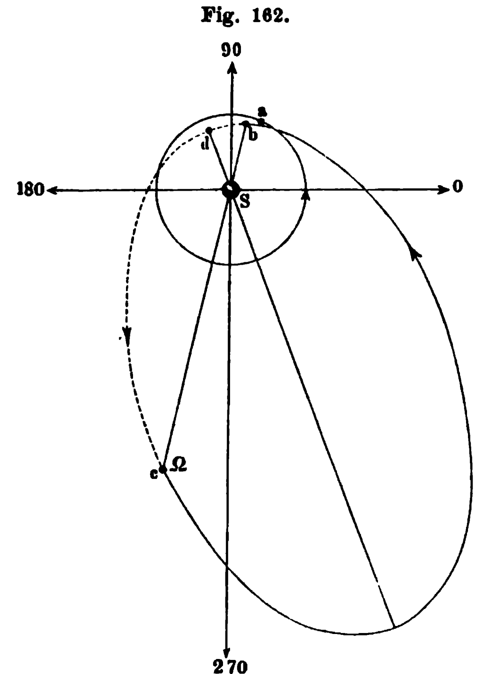
In gleicher Weise stimmen aber auch die Bahnelemente des Kometen I von 1866 mit denen des Novemberschwarmes (der Leoniden) zusammen, denn nach Oppolzer sind dieselben:

Durchgang durchs Perihel 1866 Januar	11,16
Länge des Perihels	60^0 28′
Länge des aufsteigenden Knotens . . .	231^0 26′
Neigung der Bahn	17^0 18′
Periheldistanz	0,9765
Excentricität	0,9054
Halbe grosse Axe	10,324
Umlaufszeit	33,176
Bewegung	rückläufig.

Das Bogenstück des Leonidenringes, welches dichter mit Meteoriten besetzt ist und welches nach je 33 bis 34 Jahren das Novemberphänomen in besonderem Glanze auftreten lässt, hat eine solche Länge, dass sein Durchgang durchs Perihel zwei bis drei Jahre dauert, so dass die reich-

licheren Sternschnuppenfälle des Novemberphänomens zwei bis drei Jahre hinter einander auftreten. Im Laufe der Zeit müssen aber die Meteorite, welche gegenwärtig noch an einer Stelle des Leonidenringes bedeutend dichter zusammengedrängt sind, als an dem übrigen Theil desselben, sich mehr und mehr gleichförmig über den ganzen Ring verbreiten, weil die inneren, der Sonne etwas näheren Meteorite des Ringes, bei etwas grösserer Geschwindigkeit den äusseren Partien des Schwarmes mehr und mehr voraneilen, bis eine gleichmässige Vertheilung der Meteorite über den ganzen Ring erfolgt ist, wie wir selbe bei den Perseiden beobachten.

Fig. 162.



Eine schöne Bestätigung der Theorie von Schiaparelli war ein glänzender Sternschnuppenfall, welcher ganz unerwartet in den Abendstunden des 27. November 1872 eintrat und welcher an verschiedenen Orten Deutschlands, Frankreichs, Italiens, Englands u. s. w. beobachtet wurde. Galle zählte auf der Breslauer Sternwarte von $6^h 20'$ bis $7^h 50''$ gegen 3000 Meteore; Heis in Münster zählte deren 2200 in 53 Minuten u. s. w.

Der Radiationspunkt dieser Meteore wurde in übereinstimmender Weise in der Nähe des Sternes γ der Andromeda gefunden, wonach Bruhns folgende parabolische Elemente dieses Sternschnuppenfalles berechnete:

Länge des Perihels	108^0 55′
Länge des aufsteigenden Knotens . . .	245 55
Neigung der Bahn	15 11
Periheldistanz	0,854 Erdweiten
Bewegung	rechtläufig.

Diese Elemente sind so nahe mit den entsprechenden Elementen des Biela'schen Kometen (S. 233) übereinstimmend, dass der fragliche Sternschnuppenfall ohne Zweifel von einem Meteorschwarm herrührt, welcher in der Bahn des Biela'schen Kometen die Sonne umkreist. Durch Fig. 162 soll dies anschaulicher gemacht werden. Der um S gezogene Kreis stellt die Erdbahn, die Ellipse stellt die Projection der fraglichen

Kometenbahn auf die Ebene der Ekliptik dar. Die Stelle, welche die Erde am 27. November einnimmt, ist mit *a* bezeichnet; *bc* ist die Knotenlinie der Kometenbahn, und zwar ist *c* der aufsteigende Knoten des Biela'schen Kometen, *d* ist das Perihel desselben. Am 27. November ging also die Erde so nahe an der Bahn des Biela'schen Kometen vorüber, dass sie bei einigermaassen grossem Querschnitt des Meteorschwarmes von den äusseren Stücken desselben getroffen werden konnte.

Gleich nach dem Sternschnuppenfall vom 27. November 1872 kam Klinkerfues auf den Gedanken, dass vielleicht auf dem Wege dieses Meteorschwarmes ein Komet aufzufinden sei, welcher sich dann an einer Stelle der Himmelskugel finden müsste, welche dem Radiationspunkt γ Andromedae diametral gegenüber, also am südlichen Himmel in der Nähe von ϑ Centauri liegt. Am 30. November telegraphirte er nach Madras und schon in der Nacht vom 2. auf den 3. December gelang es dem dortigen Astronomen Pogson, einen Kometen an der bezeichneten Stelle aufzufinden.

Dieser von Pogson beobachtete Komet, dessen Bahnelemente nicht haben berechnet werden können, weil Pogson wegen ungünstiger Witterung nur zwei Beobachtungen erhielt, wird nun vielfach als der wiedergefundene Biela'sche Komet bezeichnet, was übrigens doch zweifelhaft erscheint, da dieser Komet den früheren Bestimmungen zufolge sein Perihel in *d* bereits am 6. October 1872 passirt hat, nach zwei Monaten also schon weit von dem Orte sein musste, an welchem sich der Pogson'sche Komet am 3. December befand.

Aus der Entdeckung Schiaparelli's hat man bisweilen den Schluss gezogen, als ob die Dunsthüllen und Schweife der Kometen nichts anderes seien, als die aus grosser Entfernung gesehenen Meteorschwärme, oder mit anderen Worten, dass ein Komet aus einer Gruppe von Meteorsteinen bestehe, eine Ansicht, gegen welche sich Schiaparelli selbst entschieden ausspricht. Meteorschwärme und Kometenkerne ziehen vielfach in gemeinschaftlichen Bahnen durch die Himmelsräume, während sich die Schweife rechtwinklig von diesen Bahnen entfernen. Ferner kann uns ein aus der Entfernung betrachteter Meteorschwarm nur durch reflectirtes Sonnenlicht sichtbar werden, während das Licht aller bis jetzt spectroskopisch untersuchten Kometen sich vorzugsweise als eigenes Licht erweist, wie wir es an glühenden oder elektrisch leuchtenden Gasmassen beobachten.

Siebentes Capitel.

Die allgemeine Schwere.

Mechanische Erklärung der Planetenbewegung durch Newton. 103 Nachdem Kepler die Gesetze der Planetenbewegung aus den Beobachtungen abgeleitet hatte, war es die nächste Aufgabe der Astronomie, die mechanischen Ursachen derselben aufzusuchen, die Planetenbewegung auf mechanische Gesetze zurückzuführen. Es ist Newton's unsterbliches Verdienst, diese grosse Aufgabe gelöst zu haben.

Schon früher hatte es nicht an Versuchen gefehlt, die Kräfte auszumitteln, welche bei der Planetenbewegung thätig sind; man kam aber nicht zu einem Resultate, weil die Vorbedingungen fehlten, ohne welche ein solcher Schritt nicht gemacht werden konnte. Um eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung geben zu können, musste man nicht allein wissen, welches die wahren Gestalten der Planetenbahnen sind und mit welcher Geschwindigkeit sie durchlaufen werden, sondern es mussten die Grundgesetze der Mechanik selbst erst ermittelt sein. So lange man das Wesen und die Gesetze der krummlinigen Bewegung überhaupt nicht kannte, war auch eine mechanische Erklärung der Planetenbewegung nicht möglich.

Die Begründung der Mechanik geschah mit der Entdeckung der wahren Gesetze der Planetenbewegung fast gleichzeitig. Es war Galilei, welcher die Gesetze des freien Falles, der Pendelbewegung, der Wurfbewegung erkannte, welcher das Gesetz der Trägheit begründete und dadurch gerade der Schöpfer der Mechanik wurde. Das Gesetz der Trägheit zeigt, wie ein Körper, welcher in geradliniger und gleichmässiger Bewegung ist, diese Bewegung unverändert beibehält, wenn nicht äussere Kräfte sie aufheben oder modificiren und wie jede krummlinige Bewegung durch die Combination der dem Körper bereits innewohnenden und durch das Beharrungsvermögen ihm verbleibenden Geschwindigkeit mit den Wirkungen irgend einer continuirlich auf ihn wirkenden Kraft entsteht.

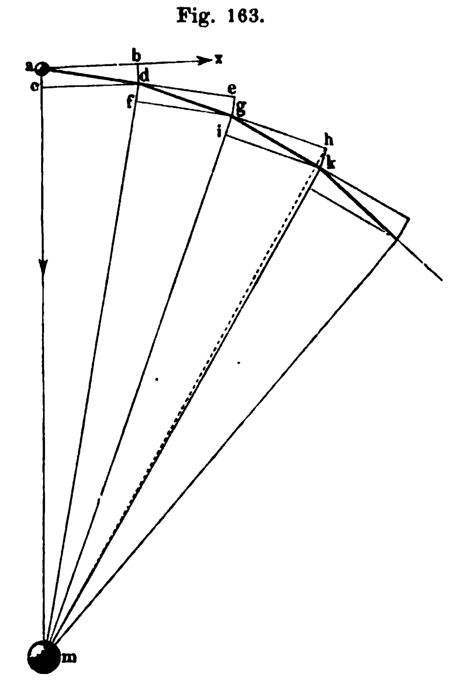
Kepler und Galilei sind es also, welche den Grund zu dem wissenschaftlichen Gebäude legten, welches durch Newton's Entdeckung der allgemeinen Schwere vollendet wurde.

Wie durch die Combination irgend einer beschleunigenden Kraft mit der Geschwindigkeit, welche ein Körper bereits hat, überhaupt eine krummlinige Bewegung entsteht, wie der Körper beständig um einen festen Anziehungsmittelpunkt kreist, wenn die beschleunigende Kraft stets gegen diesen Anziehungsmittelpunkt hin gerichtet ist, wird hier als bekannt vorausgesetzt (Lehrbuch der Physik, 9. Aufl., 1. Bd., S. 142). In den folgenden Paragraphen sollen nun die mechanischen Gesetze der Planetenbewegung überhaupt näher betrachtet, zunächst aber aus den Kepler'schen Gesetzen die Natur der beschleunigenden Kräfte abgeleitet werden, welche auf die Planeten wirken.

104 Die Planeten werden durch Centralkräfte angetrieben.

Nach dem zweiten Kepler'schen Gesetze sind die Flächenräume gleich, welche der die Sonne und den Planeten verbindende Leitstrahl in gleichen Zeiten zurücklegt. Aus diesem Gesetz folgt aber, dass die beschleunigende Kraft, welche auf die Planeten wirkt, stets gegen die Sonne hin gerichtet sein muss.

Fig. 163.



Wenn der Planet in einem kleinen Zeittheilchen t den Weg dg, Fig. 163, zurücklegt, so beschreibt der Leitstrahl während dieses Zeittheilchens das Dreieck dgm, wo m den Mittelpunkt der Sonne bezeichnet. Im nächsten gleich grossen Zeittheilchen würde der Planet unter dem alleinigen Einflusse der Geschwindigkeit, mit welcher er in g ankommt, den Weg gh zurücklegen, welcher in der Verlängerung von dg liegt und gleich dg ist. Nehmen wir nun an, eine in m befindliche Kraft bestrebt sich, den Planeten fortwährend nach m hinzuziehen, und diese Kraft sei so beschaffen, dass sie für sich allein den Planeten in dem Zeittheilchen t von g nach i bewegen würde, so wird der Planet in Wirklichkeit den Weg gk, d. h. die Diagonale des durch gh und gi

bestimmten Parallelogramms durchlaufen. Während des zweiten Zeittheilchens t beschreibt also der Leitstrahl das Dreieck gkm. Denken wir uns nun den Punkt h mit m durch eine gerade Linie verbunden, so ist das $\triangle\ gkm = \triangle\ ghm$, weil sie eine Seite gm gemeinschaftlich haben, und die gegenüber liegenden Spitzen der Dreiecke auf einer der Seite gm parallelen Linie liegen. Ferner ist aber auch $\triangle\ ghm = \triangle\ dgm$, weil dg und gh auf einer geraden Linie liegen und einander gleich sind, sowie auch die Spitze von beiden Dreiecken zusammenfällt. Es ist also auch $\triangle\ gkm = \triangle\ dgm$, d. h. der Leitstrahl hat in zwei gleichen Zeittheilchen gleiche Flächenräume beschrieben.

Wir haben hier allerdings das Zeittheilchen t so klein angenommen, dass die in demselben zurückgelegten Wege als geradlinig angesehen werden konnten; es ist indessen klar, dass der Satz, welcher für jedes einzelne Zeittheilchen t gilt, auch für die Summe vieler solcher Zeittheilchen Gültigkeit behält. Wir erhalten demnach den Satz, dass die in gleichen Zeiten von dem Leitstrahl beschriebenen Flächenräume einander gleich sind, wenn nur die beschleunigende Kraft stets gegen denselben Punkt hin gerichtet ist, nach welchem Gesetze im Uebrigen die beschleunigende Kraft mit der Entfernung von m sich ändern mag.

Die Eigenthümlichkeit, dass der Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, findet nur dann statt, wenn der Mittelpunkt, von dem aus man die Leitstrahlen nach dem beweglichen Körper gezogen denkt, zugleich der Punkt ist, nach welchem die beschleunigende Kraft stets hinwirkt. Wirkte z. B. auf den in g angekommenen Körper eine beschleunigende Kraft, deren Richtung nicht in die Linie gm fällt, so würde der Körper am Ende des nächsten Zeittheilchens in irgend einem Punkte p ankommen, welcher nicht auf der mit gm parallelen Linie hk, sondern diesseits oder jenseits derselben liegt, das Dreieck gmp würde also grösser oder kleiner sein als dgm.

Da nun in der That der von dem Planeten zur Sonne gezogene Leitstrahl in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume beschreibt, so ist klar, dass die Sonne den Centralpunkt bildet, gegen welchen die auf die Planeten einwirkenden beschleunigenden Kräfte stets gerichtet sind.

Abnahme der Centralkraft mit wachsender Entfernung von der Sonne. 105 Aus dem zweiten Kepler'schen Gesetze (nach welchem der Leitstrahl des Planeten in gleichen Zeiten gleiche Flächenräume zurücklegt) konnte man nur den Schluss ziehen, dass die Planeten stets gegen die Sonne hingetrieben, wir können also auch sagen, von der Sonne angezogen werden; in welchem Verhältnisse aber diese anziehende Kraft der Sonne zu dem Abstande der Planeten von derselben stehe, das lässt das zweite Kepler'sche Gesetz, wie schon bemerkt wurde, völlig unentschieden, denn es findet statt, welches auch das Gesetz sein mag, welchem dieses Verhältniss unterworfen ist. Dieses Gesetz ergiebt sich aber als nothwendige Folge aus dem dritten Kepler'schen Gesetze.

Nach dem dritten Kepler'schen Gesetze verhalten sich die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten wie die dritten Potenzen ihrer mittleren Abstände von der Sonne (S. 153). Bezeichnen wir mit T und t die Umlaufszeiten, mit R und r die mittleren Abstände zweier Planeten, so haben wir also:

$$\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}.$$

Es muss indessen bemerkt werden, dass das Gesetz in dieser Form nicht strenge richtig ist und nur deswegen bei den Bewegungen der Planeten sehr nahe zutrifft, weil die Massen der Planeten sehr klein sind im Verhältniss zur Masse der Sonne.

Genau würde die obige Gleichung folgendermaassen auszudrücken sein:

$$\frac{R^3}{r^3} = \frac{T^2 (M + m)}{t^2 (M + \mu)},$$

wo M die Masse der Sonne, dagegen m und μ diejenige der Planeten mit den mittleren Entfernungen R und r bezeichnen. Da nun in unserem Sonnensystem die Massen der Planeten äusserst klein im Verhältniss zur Sonnenmasse sind, so wird nur ein sehr geringer Fehler begangen, wenn wir $\frac{M + m}{M + \mu} = 1$ setzen, wodurch wir das dritte Kepler'sche Gesetz erhalten.

Ganz allgemein würde das Gesetz folgendermaassen lauten müssen:

Die Quadrate der gegenseitigen Umlaufszeiten je zweier Paare in Folge der Gravitation um einander bewegter Himmelskörper, multiplicirt mit den Summen der respectiven Massen, verhalten sich wie die Cuben der gegenseitigen mittleren Entfernungen.

Es seien z. B. M, m, sowie M', m' die Massen zweier Paare sich um einander bewegender Körper, die wir mit den nämlichen Buchstaben bezeichnen wollen, ferner R die mittlere Entfernung zwischen M und m, sowie R' diejenige zwischen M' und m', endlich T die Umlaufszeit von M und m, und T' diejenige von M' und m' um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt, so findet immer das Verhältniss statt:

$$(A) \quad \ldots\ldots \quad R^3 : R'^3 = T^2 (M + m) : T'^2 (M' + m');$$

woraus, wenn $M = M'$, sowie m und m' verschwindend klein wird, das dritte Kepler'sche Gesetz hervorgeht.

Wir wollen nun die Bewegung zweier Planeten, deren Masse wir vernachlässigen können, und die sich in Kreisbahnen um die Sonne bewegen, näher betrachten.

Die Mechanik lehrt uns, dass, wenn ein Körper, z. B. ein Planet, um einen Anziehungsmittelpunkt einen Kreis vom Halbmesser r während der Zeit t zurücklegt, alsdann die beschleunigende Kraft v, welche den Planeten gegen den Mittelpunkt hintreibt, ist (Lehrbuch der Physik, 9. Aufl., 1. Band, S. 157):

$$v = \frac{4\pi^2 r}{t^2}.$$

Für einen zweiten Planeten, dessen Umlaufszeit T und dessen Abstand von der Sonne R ist, haben wir demnach:

$$V = \frac{4\pi^2 R}{T^2},$$

folglich:

$$\frac{v}{V} = \frac{4\pi^2 r}{t^2} \cdot \frac{T^2}{4\pi^2 R} = \frac{r \,.\, T^2}{R t^2}.$$

Nun aber ist, wie Kepler auf empirischem Wege gefunden hat, und wenn wir die Masse der Planeten als Null annehmen, $\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}$, folglich haben wir:

$$\frac{v}{V} = \frac{r}{R} \cdot \frac{R^3}{r^3} = \frac{R^2}{r^2},$$

das heisst mit Worten: die beschleunigenden Kräfte, welche die Planeten gegen die Sonne hintreiben, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernung von der Sonne, ein Gesetz, welches sich wohl a priori voraussehen liess, da es für alle Wirkungen in die Ferne gilt, insofern wir sie von einem Punkte ausgehend betrachten können.

Wird einem Körper, welcher der Wirkung einer Kraft ausgesetzt ist, die ihn stets gegen einen und denselben Punkt hintreibt, und deren Stärke im umgekehrten Verhältniss des Quadrates der Entfernung vom Centralpunkte steht, auf irgend eine Weise eine seitliche Geschwindigkeit mitgetheilt, so muss er, wie sich mit Hülfe höherer Rechnung nachweisen lässt, wie aber H. Müller auch auf elementarem Wege entwickelt hat (Die Kepler'schen Gesetze von H. M., Braunschweig 1870), eine Curve beschreiben, welche ein Kegelschnitt ist, und zwar hängt es von dem Verhältniss zwischen der Centripetalkraft und Tangentialkraft ab, ob die durchlaufene Curve eine Ellipse, eine Parabel oder eine Hyperbel sein wird. Bei den Planeten kommen nur elliptische Bahnen vor, bei den Kometen dagegen vorzugsweise parabolische, oder solche elliptische, welche von der Parabel sich nicht merklich unterscheiden. Die kreisförmige Bewegung ist nur ein specieller Fall der elliptischen.

Da die Trabanten bei ihrem Umlauf um die entsprechenden Planeten gleichfalls die Kepler'schen Gesetze befolgen, so ist klar, dass die Kräfte, mit welchen die Planeten ihre Trabanten anziehen, demselben Gesetze unterworfen sind, wie die Anziehungskraft, welche zwischen der Sonne und den Planeten wirksam ist.

Zur Demonstration der Kepler'schen Gesetze hat Hagenbach einen von der Société Genevoise pour la construction d'instruments de physique ausgeführten Apparat erdacht, welchen Fig. 164 (a. f. S.) in $^1/_{20}$ der natürlichen Grösse darstellt. In der Mitte steht ein grosser Elektro-

magnet, dessen Kern noch etwas über die oberste der vier Spiralen hervorragt und auf welchen eine polirte hölzerne Kugel S geschoben wird, welche den anziehenden Körper, etwa die Sonne, vorstellt. BC ist ein



Fig. 164.

langer, dünner Stahlmagnet. Bei D ist dieser Magnetstab vermöge einer Cardani'schen Aufhängung so befestigt, dass seine Schwere eliminirt ist, dass also der Schwerpunkt des Magnetstabes mit Allem, was er trägt, mit dem Durchschnittspunkte der beiden Schneiden der Cardani'schen Aufhängung zusammenfällt. Um die Lage dieses Schwerpunktes gehörig reguliren zu können, dient das Laufgewicht E, welches an seitlichen Armen noch drei kleinere Laufgewichte trägt, die auf Schrauben laufen. Nahe an seinem unteren Ende trägt der lange Magnetstab BC die kleine Holzkugel P, welche den Planeten darstellt.

Die in Fig. 50, S. 75 dargestellte Cardani'sche Aufhängung ist eigentlich für diesen Apparat construirt; der magnetisirte Stahlstab BC geht durch die Mitte der Hülse ab hindurch, in welcher er befestigt ist.

Die nicht zu beseitigenden Mängel, mit denen der Apparat behaftet ist, bestehen in dem Einflusse des unteren Poles des Elektromagneten und des Erdmagnetismus, dem Widerstande der Luft und dem Umstande, dass sich die Stange BC bei schiefer Lage etwas biegt. Trotz dieser Mängel lässt sich die elliptische Bewegung der Kugel P leicht erhalten, wenn man den Stab aus der senkrechten Lage bringt und der Kugel P einen kleinen seitlichen Stoss giebt. Sehr deutlich zeigt sich dann die schnelle Bewegung im Perihel und die langsame im Aphel. Die verschiedenen Widerstände bewirken allerdings, dass die Ellipse bald kleiner wird und dass die kleine Kugel nach etwa drei Umläufen an die grosse anstösst.

Die allgemeine Schwere. Ueber den Fall der Körper auf 106
der Oberfläche der Erde nachdenkend, kam Newton auf die Idee, ob nicht vielleicht dieselbe Kraft, welche den Stein zur Erde herabfallen macht, also das, was wir die Schwere nennen, weit über die Grenzen der Atmosphäre hinaus, ja bis an den Mond reiche, dass nichts Anderes als die Schwere die Centralkraft sei, welche den Mond in seiner Bahn um die Erde erhält.

Diese Idee lässt sich leicht prüfen. Auf der Erdoberfläche ist die beschleunigende Kraft der Schwere (die Endgeschwindigkeit der ersten Fallsecunde) gleich 9,8088 m. Der Mond ist nun 60 mal so weit von dem Centrum der Erde entfernt, als ein Punkt auf der Erdoberfläche; wenn also die Schwerkraft bis an den Mond reicht, so muss dort ihre beschleunigende Kraft 60^2, also 3600 mal geringer sein, als auf der Erdoberfläche, sie wäre also:

$$\frac{9{,}8088}{3600} = 0{,}002724 \text{ m}.$$

Nun aber können wir die Grösse der beschleunigenden Kraft, welche wirklich den Mond nach der Erde hintreibt, aus dem Halbmesser seiner Bahn und seiner Umlaufszeit berechnen. Wir haben:

$$v = \frac{4\pi^2 r}{t^2} = \frac{2\pi r \,.\, 2\pi}{t^2}.$$

Der Umfang der Erde ist 40000000 m, also ist der Umfang der Mondbahn, d. h. der Werth $2\pi r$, welcher in obiger Gleichung zu setzen ist, gleich 40 . 60 oder 2400000000 m. Diesen Weg legt der Mond in 27 Tagen 7 Stunden 4 Minuten oder in 2360580 Secunden zurück; wir haben also:

$$v = \frac{2400000000 \cdot 2 \cdot 3{,}14}{2360580^2} = 0{,}002761 \text{ m}.$$

Wenn wir die kleine Differenz zwischen 0,002724 und 0,002761 vernachlässigen, welche übrigens nur daher rührt, dass wir für die Entfernung und die Umlaufszeit des Mondes statt der vollkommen genauen nur Näherungswerthe in Rechnung gebracht haben, so sehen wir, dass sich derselbe Werth für die beschleunigende Kraft ergiebt, welche den Mond zur Erde treibt, mögen wir nun dieselbe aus den astronomischen Beobachtungen oder aus der Hypothese ableiten, dass die Schwerkraft auch noch auf den Mond wirke, dass sie aber im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung vom Mittelpunkte der Erde abnehme, und diese Uebereinstimmung ist eben ein Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese.

Newton hatte zuerst für den Erdhalbmesser, folglich auch für die Entfernung des Mondes (60 Erdhalbmesser), einen zu kleinen Werth in Rechnung gebracht und fand deshalb, von der Intensität der Schwerkraft auf der Erde ausgehend, die Intensität der Kraft, welche den Mond gegen die Erde treibt, grösser, als die aus den astronomischen Beobachtungen abgeleitete. Der Unterschied war von der Art, dass, in umgekehrter Ordnung aus der Mondbewegung auf den Fall auf der Erdoberfläche schliessend, der Fallraum der ersten Secunde nur 13 Fuss hätte betragen müssen, während er in der That 15 Fuss ist.

Diese Differenz war so gross, dass Newton selbst seine Theorie ganz aufgab, d. h. er gab die Idee auf, dass die Centripetalkraft, welche bei der Mondbewegung thätig ist, mit der Schwere identisch sei.

Zwölf Jahre lang hatte er diesen Gegenstand vollständig liegen gelassen, als er im Juni des Jahres 1682 die Kunde von einer neuen, in Frankreich durch Picard ausgeführten Gradmessung erhielt, nach welcher der Durchmesser der Erde grösser und zwar um $^1/_7$ grösser war, als man nach früheren, weniger genauen Messungen angenommen hatte. Alsbald nahm er seine alten Rechnungen wieder vor und hatte nun die Freude, seine schon aufgegebene Theorie aufs Vollständigste bestätigt zu sehen.

Die Sonne zieht die Planeten, die Planeten aber ziehen ihre Satelliten an, und die Kraft, welche die Monde gegen ihre Planeten hintreibt, ist identisch mit der Schwerkraft, welche alle Körper niederzieht, die sich auf der Oberfläche der Planeten befinden. Das Gesetz dieser Anziehung, welches unser ganzes Planetensystem beherrscht, lässt sich in folgender Weise aussprechen:

Je zwei materielle Körper ziehen sich mit einer Kraft an, welche ihren Massen direct und dem Quadrat ihrer Entfernungen umgekehrt proportional ist.

Bezeichnet man mit m und m' die Massen der beiden Körper, mit r ihre Entfernung, so ist also ihre gegenseitige Anziehung gleich

$$f\,\frac{m\,.\,m'}{r^2},$$

wo f ein constanter Factor ist.

Das Gewicht eines Körpers auf der Oberfläche eines Planeten ist die Resultirende aller Anziehungen, welche sämmtliche Molecüle, aus denen der Planet zusammengesetzt ist, auf den fraglichen Körper ausüben. Diese Resultirende ist stets gegen den Mittelpunkt des Planeten hin gerichtet, insofern man ihn als vollkommen kugelförmig betrachtet und also von seiner Abplattung abstrahirt. Für diesen Fall wirkt auch die Gesammtanziehung eines Planeten in die Ferne sowohl wie auf einen Körper, welcher sich auf seiner Oberfläche befindet, gerade so, als ob die ganze Masse des Planeten sich in seinem Mittelpunkte befände. Bezeichnen wir also mit m die Masse, mit ϱ den Halbmesser eines Planeten, so ist die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse auf der Oberfläche des Planeten gegen den Mittelpunkt hingezogen wird:

$$V = f\,\frac{m}{\varrho^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Die Geschwindigkeit, also auch die Beschleunigung, mit welcher ein Körper auf der Planetenoberfläche fällt, ist von seiner Masse unabhängig, sie ist gleich der Geschwindigkeit und der Beschleunigung, mit welcher die Masseneinheit fällt, sie ist also:

$$g = h\,\frac{m}{\varrho^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

wo h einen constanten Factor bezeichnet, dessen Bestimmung für uns jetzt kein Interesse hat.

Betrachtet man die Bewegung eines Planeten, so ist streng genommen der Mittelpunkt der Sonne kein fester Punkt, sondern der Planet sowohl als auch die Sonne selbst beschreiben mit gleicher Umlaufszeit Ellipsen um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt, welcher aber stets dem Mittelpunkte der Sonne sehr nahe liegt, weil die Masse der Planeten nur ein höchst unbedeutender Bruchtheil der Sonnenmasse ist; bezieht man aber die Bewegung des Planeten auf den Mittelpunkt der Sonne, indem man denselben als fest betrachtet, so ist seine Bahn gleichfalls eine elliptische.

Es sei M die Masse der Sonne, m die Masse eines Planeten und R der Abstand beider von einander, so ist die beschleunigende Kraft, welche den Planeten gegen den gemeinschaftlichen Schwerpunkt treibt:

$$G = h\,\frac{M}{R^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

während die Sonne gegen denselben Schwerpunkt mit einer Beschleunigung:

$$\Gamma = h\frac{m}{R^2}$$

hingetrieben wird. Letztere Grösse kann man aber als verschwindend klein gegen die erstere betrachten, so dass also G das Maass der Beschleunigung ist, mit welchem der Planet um die Sonne gravitirt. Ebenso ist

$$G' = h\frac{m}{r^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

der Werth der Beschleunigung, mittelst deren ein Satellit um seinen Planeten kreist, wenn r die Entfernung beider bezeichnet und die Masse des Trabanten im Vergleich zur Masse m des Planeten als verschwindend klein betrachtet werden kann.

107 **Masse der Sonne und der Planeten.** Die Formeln, welche wir im vorigen Paragraphen kennen lernten, geben uns ein Mittel an die Hand, die Masse der Planeten, welche Satelliten haben, mit der Masse der Sonne zu vergleichen.

Es sei M die Masse der Sonne, m die Masse eines Planeten, μ die eines Satelliten dieses Planeten; ferner R die mittlere Entfernung des Planeten von der Sonne, r die des Satelliten von den Planeten; T die Umlaufszeit des Planeten um die Sonne, t die des Satelliten um den Planeten, so geht die Gleichung (A) auf S. 277 in folgende über:

$$R^3 : r^3 = T^2 (M + m) : t^2 (m + \mu),$$

oder:

$$\frac{M + m}{m + \mu} = \frac{t^2 R^3}{T^2 r^3}.$$

Nehmen wir die Entfernung des Mondes von der Erde zur Längeneinheit, so ist $r = 1$ und für die Erde $R = 387$.

Die Umlaufszeit des Mondes um die Erde beträgt 27,321661, die der Erde um die Sonne beträgt 365,256 Tage. Setzen wir nun in unserer letzten Gleichung $t = 27{,}321661$ und $T = 365{,}256$ und ausserdem für R und r die obigen Zahlenwerthe, so kommt:

$$\frac{M + m}{m + \mu} = 324\,124,$$

d. h. die Masse der Sonne + der Masse der Erde ist 324 124 mal so gross, als die Masse der Erde + der Masse des Mondes. Da aber die Masse der Erde gegen diejenige der Sonne, und die Masse des Mondes gegen die der Erde sehr klein ist, so bezeichnet die obige Zahl sehr genähert das Verhältniss der Sonnen- zur Erdmasse, oder die Grösse $\frac{M}{m}$.

Die Umlaufszeit t' des äussersten Jupitertrabanten ist 16,689018 Tage, seine Entfernung vom Mittelpunkte des Jupiter ist 26,486 Jupiterhalb-

messer oder in Mondabständen ausgedrückt, $r' = 4,8743$. Bezeichnen wir also mit m' die Masse des Jupiter, so haben wir, wenn wir die Masse seines Satelliten und die des Mondes vernachlässigen:

$$\frac{m'}{m} = \frac{r'^3 t^2}{r^3 t'^2},$$

und wenn wir für r, r', t und t' ihre Zahlenwerthe setzen:

$$\frac{m'}{m} = 310.$$

Nach derselben Methode findet man, dass die Masse des Mars 0,1 mal, die des Saturn 92 mal, die des Uranus 13,5 mal und die des Neptun 16,5 mal so gross ist, als die Masse der Erde. Bei denjenigen Planeten, welche keine Monde haben, wie Mercur und Venus, lässt sich die Masse auf die vorher beschriebene Weise nicht ermitteln, sondern muss aus den Störungen abgeleitet werden, welche diese Planeten auf andere Weltkörper, namentlich periodische Kometen, ausüben.

Es ist bereits oben der wahre Durchmesser der Sonne und der Planeten angegeben worden, und daraus lässt sich dann leicht ihr Volumen berechnen. Setzt man das Volumen der Erde gleich 1, so ergiebt sich das Volumen der Sonne und der Planeten, wie es die zweite Columne der folgenden Tabelle angiebt.

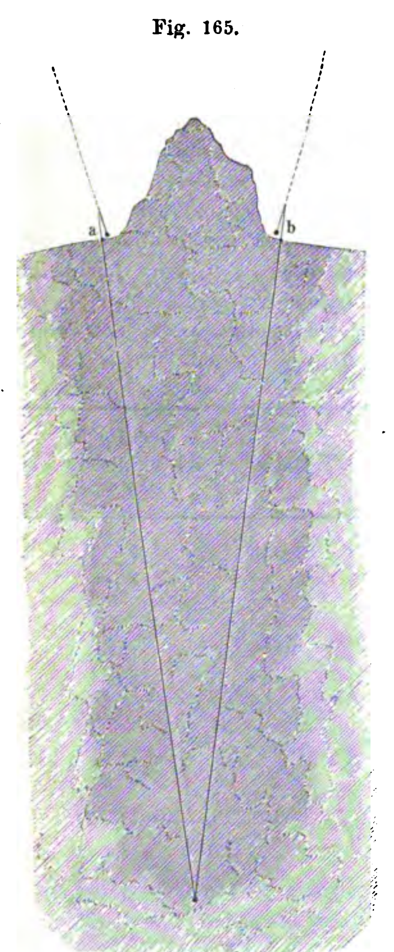
	Volumen	Masse	Dichtigkeit im Vergleiche zu der Erde
Sonne	1283720	324439	0,253
Mercur	0,052	0,061	1,173
Venus	0,975	0,787	0,807
Erde	1,000	1,000	1,000
Mars	0,147	0,105	0,711
Jupiter	1279,412	308,990	0,242
Saturn	718,883	91,919	0,128
Uranus	69,237	13,518	0,195
Neptun	54,955	16,469	0,300

Die dritte Columne dieser Tabelle enthält die eben besprochenen Werthe für die Massen der genannten Himmelskörper. Man sieht nun sogleich, dass die Massen dem körperlichen Inhalte keineswegs proportional bleiben; während z. B. der cubische Inhalt des Jupiter 1279 mal grösser ist, als der der Erde, so ist die Masse des Jupiter doch nur 309 mal so gross, als die Masse der Erde, es ist also klar, dass Jupiter weniger dicht sein muss als die Erde.

Dividirt man die Zahlen der dritten Columne durch die entsprechenden Zahlen der zweiten, so findet man die Werthe des mittleren Eigengewichtes, wie sie in der letzten Verticalreihe aufgeführt sind. Die Sonne ist also nahezu viermal weniger dicht als die Erdmasse; der Jupiter ist nicht ganz so dicht wie die Sonne, noch weit weniger dicht aber sind Saturn und Uranus.

108 **Dichtigkeit der Erde.** Wir haben eben das Eigengewicht der Sonne und mehrerer Planeten nur mit dem mittleren specifischen der Erde verglichen, wir wollen nun sehen, auf welche Weise man die Masse und das auf Wasser bezogene Eigengewicht der Erdkugel selbst bestimmen kann.

Fig. 165.



Wäre die Erde eine Kugel von homogener Masse, so würde ein Bleiloth, welches in einer vollkommen ebenen Gegend im Freien aufgehängt wäre, stets gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet sein; befände sich aber auf einer Seite des Bleilothes eine bedeutende, über die Oberfläche der Erde hervorragende Masse, etwa ein Gebirgszug, so würde diese gleichfalls anziehend auf die Kugel des Lothes wirken und eine Ablenkung desselben aus der Verticalen veranlassen.

In gleicher Weise wird die Nähe von Gebirgen auch eine Abweichung der freien Oberfläche der Gewässer von der wahren Horizontalen bewirken, da ja dieselbe stets rechtwinkelig auf der Richtung des Bleilothes steht.

Bouguer war der Erste, welcher die Idee hatte, in der Anziehung der Gebirge einen Beweis für die allgemeine Anziehung der Materie zu suchen. Er stellte seine Versuche an den Abhängen des Chimborasso an und fand eine Ablenkung des Bleilothes von 7″ bis 8″. Dass bei der bedeutenden Ausdehnung des Gebirges keine grössere Ablenkung gefunden wurde, rührt vielleicht daher, dass sich grosse Höhlungen im Inneren jener vulcanischen Berge befinden.

Sehen wir nun zunächst, wie man im Stande ist, eine Ablenkung des Bleilothes von der Verticalen (d. h. von der nach dem Mittelpunkte der Erde gerichteten Geraden) nachzuweisen.

An unseren astronomischen Höhenkreisen bestimmen wir die Richtung der Horizontalen mit Hülfe der Wasserwage, folglich fällt die Richtung des Zeniths, wie sie uns der Höhenkreis angiebt, zusammen mit der Richtung des Bleilothes. Die durch den Höhenkreis gemessene Zenithdistanz eines Gestirnes ist der Winkel, welchen die nach dem Sterne gerichtete Visirlinie mit der Richtung des Bleilothes macht.

Wenn man nun an zwei Orten, *a* und *b*, Fig. 165, welche auf demselben Erdmeridian liegen, die Zenithdistanz eines und desselben Fixsternes zur Culminationszeit bestimmt, so ist der Unterschied der beiden Zenithdistanzen der Winkel, welchen die Richtung des Bleilothes in *a* mit der Richtung des Bleilothes in *b* macht.

So fanden Maskelyne und Hutton im Jahre 1772, dass die Bleilothe zweier Orte, *a* und *b*, desselben Meridians, von denen die eine auf dem nördlichen, die andere am südlichen Abhange des Berges Schehallien lag, einen Winkel von 53 Bogensecunden mit einander machten.

Durch geodätische Messungen wurde aber ferner ermittelt, dass *a* 3900 Fuss nördlich von *b* lag. Da für Schottland die Länge eines Breitengrades ungefähr 342 500 Fuss beträgt, so entspricht jene Länge von 3900 Fuss einem Bogen von 41″, d. h. aus der geodätischen Messung folgt, dass *a* um 41″ nördlich von *b* liegt, oder dass die Verticale von *a*, d. h. die von *a* nach dem Mittelpunkte der Erde gezogene Gerade, mit der Verticalen von *b* einen Winkel von 41 Secunden macht.

Der Winkel, welchen die Bleilothe von *a* und *b* mit einander machen, ist also um 12″ grösser, als der Winkel der Verticalen beider Orte; die Bleilothe von *a* und *b* sind also nicht gegen den Mittelpunkt der Erde gerichtet, sie sind durch den Einfluss des Berges von der Verticalen abgelenkt, und zwar beträgt die Summe der Ablenkungen der Bleilothe in *a* und *b* 12″.

Durch eine genaue Vermessung des Berges wurde nun das Volumen des Gebirges bestimmt, woraus sich dann auch die Masse desselben mit annähernder Genauigkeit berechnen liess, da ja das specifische Gewicht des Gesteins bekannt ist, aus welchem es besteht.

Aus der Ablenkung des Bleilothes ergiebt sich aber ferner, in welchem Verhältniss die anziehende Kraft des Berges zur Gesammtanziehung der Erde steht, und da die Masse des Berges bekannt ist, so lässt sich daraus auch auf die Masse und die mittlere Dichtigkeit der ganzen Erdkugel schliessen.

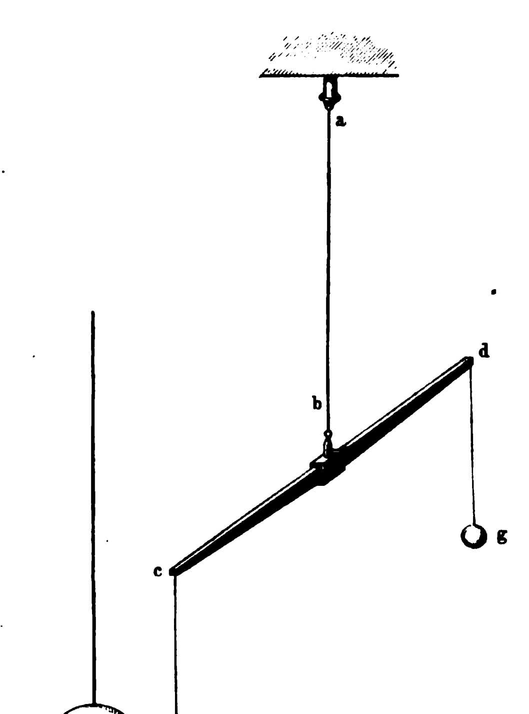
Maskelyne ermittelte auf diesem Wege, dass das mittlere specifische Gewicht der Erde 4,71 sei, ein Resultat, welches der Wahrheit schon sehr nahe kam.

Wir begnügen uns hier, die Methode nur anzudeuten, welche Maskelyne anwandte, um die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde

zu bestimmen, und zwar um so mehr, als die Berechnung auf diesem Wege eine ziemlich schwierige ist, ohne deshalb so genaue Resultate liefern zu können, wie die Methode, welche im nächsten Paragraphen besprochen werden soll.

109 **Anwendung der Drehwage und anderer Apparate zur Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde.** Ein englischer Physiker, Mitchell, construirte eine Drehwage, mit deren Hülfe er die mittlere Dichtigkeit der Erde zu bestimmen gedachte; er starb aber, ehe er zur Anstellung der Versuche kam, welche erst nach seinem Tode von Cavendish ausgeführt wurden. Der Grundgedanke des Apparates ist folgender:

Fig. 166.



An einem dünnen Metalldraht *ab*, Fig. 166, hängt ein horizontaler, gleicharmiger Hebel *cd*, welcher an seinen Enden die Kugeln *f* und *g* trägt. Dem Einfluss aller störenden Kräfte entzogen, wird die ganze Vorrichtung eine solche Stellung annehmen, dass der Draht *ab* ohne Torsion ist.

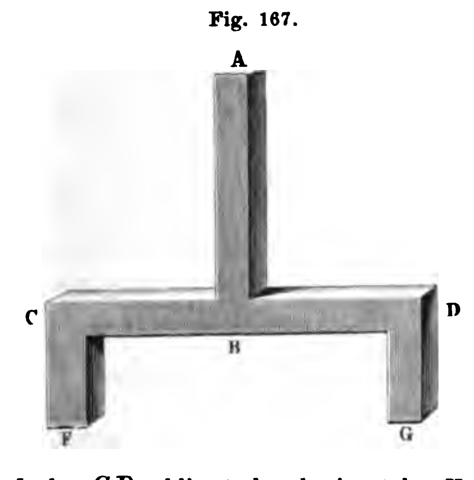
Bringt man nun neben der Kugel *f* eine Kugel *h* von bedeutender Masse an, so wird *h* anziehend auf *f* wirken, und dadurch wird der horizontale Hebel *cd* um einen Winkel aus seiner früheren Gleichgewichtslage herausgedreht, welcher der anziehenden Kraft *k* proportional ist, mit welcher die Kugeln *h* und *f* gegenseitig auf einander wirken.

Die Grösse dieser Kraft *k* lässt sich aber berechnen, wenn man die Schwingungszeit kennt, mit welcher der horizontale Hebel *cd* um seine Gleichgewichtslage oscillirt, sobald er auf irgend eine Weise aus derselben herausgebracht worden ist.

Aus dem Verhältniss der Kraft k zu dem Gewichte m der Kugel f (der Kraft, mit welcher die ganze Erdkugel die Kugel f anzieht) ergiebt sich dann das Verhältniss zwischen der leicht zu ermittelnden Masse M der Kugel h und der Masse Q der Erdkugel.

Es kommt also vor allen Dingen darauf an, die Ablenkung des horizontalen Hebels durch die Einwirkung der Kugel h, sowie die Schwingungszeit des horizontalen Pendels cd mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln; jeder Luftzug wirkt aber störend sowohl auf die Ablenkung als auf die Schwingungszeit, und deshalb muss die ganze Vorrichtung in ein möglichst enges Gehäuse eingeschlossen und an einem Orte aufgestellt sein, an welchem möglichst wenig Temperaturschwankungen stattfinden.

Fig. 167.



Das hölzerne Gehäuse, welches die Drehwage einschliesst, hat ungefähr die Gestalt von Fig. 167. In AB befindet sich der Aufhängedraht, CD schliesst den horizontalen Hebel ein und in den verticalen Armen CF und DG befinden sich die Kugeln f und g mit ihren Aufhängedrähten. Das Ganze ist nur so weit, dass dem Hebel cd der nöthige Spielraum für die kleine durch h hervorgebrachte Ablenkung und die kleinen Schwingungen bleibt.

An einigen Stellen ist die Wand des Gehäuses durchbrochen, die Oeffnungen aber sind dann wieder durch Platten von Spiegelglas geschlossen, durch welche hindurch man den Hebel und seine Oscillationen beobachten kann.

Cavendish wandte ausser der ablenkenden Masse h noch eine zweite, neben der Kugel g hängende an, welche die Wirkung der ersteren unterstützt; aus seinen, nach der eben angedeuteten Methode angestellten Versuchen ergab sich für die mittlere Dichtigkeit der Erde der Werth 5,48 oder nach Hutton's Revision der Rechnungen 5,32.

Im Jahre 1837 stellte F. Reich neue Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage an. Eine wesentliche Verbesserung des Apparates erzielte er dadurch, dass er ihn mit einer Poggendorff'schen Spiegelvorrichtung versah, welche auch Gauss mit so grossem Vortheil bei seinem Magnetometer angewandt hatte. Der Spiegel war am unteren Ende des Aufhängedrahtes bei b, Fig. 166, angebracht. Die ganze Drehwage war an der Decke eines Kellers aufgehängt und die Scala durch eine Lampe mittelst eines Hohlspiegels erleuchtet.

Die Grössen, deren Kenntniss zur Berechnung der Masse und Dichtigkeit der Erde nothwendig sind, waren beim Reich'schen Apparat:

Abstand des Aufhängepunktes der Kugeln f und g von der Mitte des Hebels . . . . $r = 100{,}1$ cm
Jede der Kugeln f und g wog . . . . $m = 484{,}2$ g
Das auf den Aufhängepunkt der Kugel reducirte Gewicht des halben Hebels sammt dem Gewichte der Aufhängevorrichtung . . . . $m' = 34{,}7$ g
Abstand der Scala vom Spiegel . . . . $\mu = 4523$ mm
Gewicht der ablenkenden Kugel h . . . . $M = 45006$ g

Diese Kugel h war aus Blei verfertigt, während die Kugeln f und g aus einer Composition von Blei und Wismuth bestanden.

Ferner ist:

Der Halbmesser der Erde . . . . $R = 636462400$ cm
Die Länge des Secundenpendels für Freiberg . . $l = 99{,}4$ cm

Bei einer der von Reich angestellten Beobachtungsreihen ergaben sich folgende Resultate:

Der Abstand des Mittelpunktes der Kugel h vom Mittelpunkt der Kugel f war . . . . $E = 17$ cm
Die auf der Scala abgelesene Ablenkung der Drehwage . . . . $B = 7{,}156$ mm
Die Schwingungszeit der Drehwage . . . . . $t = 405^s$.

Aus diesen Daten lässt sich nun die Masse und die mittlere Dichtigkeit der Erde in folgender Weise berechnen.

Bei den Schwingungen der Drehwage hat die Elasticität des Drahtes eine träge Masse in Bewegung zu setzen, deren Trägheit gerade so wirkt, als ob am Ende des Hebels eine Masse $2(m + m')$, in unserem Falle also eine Masse von 1038 g angehängt wäre.

Nun aber wirkt die ablenkende Kraft der Kugel h nur auf die kleine Kugel f. Hätte die Elasticität des Aufhängedrahtes nur diese eine Kugel f in Bewegung zu setzen gehabt, deren Gewicht $m = 484{,}2$ g beträgt, so würden die Schwingungen schneller gewesen sein, und zwar würde die Schwingungszeit im Verhältniss von $\sqrt{2(m + m')}$ zu $\sqrt{m}$ abgenommen haben, kurz die Schwingungszeit t' würde sein:

$$t' = t \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{2(m + m')}} \quad \ldots \ldots \quad 1)$$

in unserem Falle also:

$$t' = 405 \sqrt{\frac{484}{1038}} = 276{,}55^s.$$

Dies ist also die Schwingungszeit eines einfachen, 100,1 cm langen Pendels, welches unter dem Einfluss der Elasticität des Aufhängedrahtes schwingt.

Für ein einfaches Pendel von gleicher Länge, welches unter dem Einfluss der Schwere schwingt, würde die Schwingungszeit gewesen sein:

$$t'' = \frac{\sqrt{r}}{\sqrt{l}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

in unserem speciellen Falle:

$$t'' = \frac{\sqrt{100,1}}{\sqrt{99,4}} = 1{,}0035 \text{ Secunden.}$$

Für zwei gleichlange einfache Pendel verhalten sich aber bei gleichem Ausschlagswinkel die beschleunigenden Kräfte, welche die Kugel in die Gleichgewichtslage zurücktreiben, umgekehrt wie die Quadrate der Schwingungszeiten. Bezeichnen wir die beschleunigende Kraft, mit welcher die Elasticität des Aufhängedrahtes die Drehwage in ihre Gleichgewichtslage zurückzuführen strebt, mit k, mit K aber die Kraft, mit welcher die Kugel eines gewöhnlichen Pendels gegen seine Gleichgewichtslage getrieben wird, so haben wir:

$$k : K = t''^2 : t'^2,$$

also:

$$k = K \frac{t''^2}{t'^2}$$

oder:

$$k = K \cdot \frac{r}{l \cdot t^2} \cdot \frac{2(m + m')}{m} \quad \ldots \ldots \quad 3)$$

wenn man für t' und für t'' ihre Werthe bei 1) und 2) setzt. Setzt man für t' und t'' die für unseren speciellen Fall berechneten Zahlenwerthe, so kommt:

$$k = \frac{K}{75945}.$$

Durch den Einfluss der Kugel h wird die Drehwage um B Theilstriche der Scala abgelenkt; wenn wir also mit x den Ablenkungswinkel bezeichnen, so ist:

$$\sin x = \frac{B}{2\mu}.$$

Wenn ein gewöhnliches einfaches Pendel um den Winkel x aus seiner Gleichgewichtslage entfernt wird, so ist die Kraft K, welche die Kugel nach ihrer Gleichgewichtslage zurücktreibt, gleich $m \cdot \sin x$, wenn m das Gewicht der Kugel ist: setzen wir für $\sin x$ den eben gefundenen Werth, so haben wir:

$$K = \frac{m \cdot B}{2\mu} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 4)$$

also in unserem speciellen Falle, wenn für m, B und μ die oben angegebenen Zahlenwerthe gesetzt werden:

$$K = 0{,}3832 \text{ g}.$$

Demnach ist auch

$$k = \frac{B \,.\, r \,.\, (m + m')}{\mu \,.\, l \,.\, t^2} \quad \dots \dots \dots \quad 5)$$

oder für unseren speciellen Fall ergiebt sich für k der Zahlenwerth:

$$k = 0{,}0000050467 \, g.$$

Dies ist also die Kraft, mit welcher die Kugel f durch die Kugel h auf die Seite gezogen wird, während die Kraft, mit welcher die Kugel f durch die gesammte Erde angezogen wird, gleich m ist. Denken wir uns nun die Masse M der Kugel h, sowie die Masse Q der ganzen Erde in den entsprechenden Mittelpunkten vereinigt, so haben wir zur Berechnung der Masse Q die Gleichung:

$$m : k = \frac{Q}{R^2} : \frac{M}{E^2}$$

und daraus:

$$Q = \frac{m \,.\, M \,.\, R^2}{E^2 k} \quad \dots \dots \dots \quad 6)$$

oder wenn man für k seinen oben bei 5) angegebenen Werth setzt:

$$Q = \frac{m \,.\, M \,.\, R^2 \mu l t^2}{E^2 \,.\, Br(m \mp m')}.$$

Setzen wir aber in Gleichung 6) für k, m, M, R und E die früher angegebenen Zahlenwerthe, so finden wir für die Masse der Erde den Werth:

$$Q = 5\,914\,500\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000 \, g$$

oder:

118 000 Trillionen Centner.

Die mittlere Dichtigkeit der Erde findet man, wenn man die Masse Q durch das Volumen der Erde, also durch $\frac{4}{3} \pi R^3$ dividirt; man findet alsdann:

$$D = \frac{3\,Q}{4\pi R^3} = \frac{3\,M \,.\, \mu l}{4\pi R \,.\, r} \cdot \frac{m}{m + m'} \cdot \frac{t^2}{E^2 B} \quad \dots \quad 7)$$

und wenn man für die Buchstaben ihre Zahlenwerthe substituirt:

$$D = 5{,}476.$$

Aus einer grossen Reihe von Versuchen, welche Reich im Jahre 1837 anstellte, fand er als Mittel, mit Berücksichtigung aller nothwendigen Correctionen den Werth:

$$D = 5{,}44.$$

(F. Reich, Versuche über die mittlere Dichtigkeit der Erde mittelst der Drehwage. Freiberg 1838.)

Im Jahre 1843 publicirte Baily in London die Resultate einer grossen Reihe von Versuchen, welche er im Auftrage der Royal Astronomical Society nach der Methode von Cavendish angestellt hatte.

Er fand die mittlere Dichtigkeit der Erde:

$$D = 5{,}66.$$

Nach dem Bekanntwerden dieses Resultates wiederholte auch Reich seine Versuche, nachdem er einige Verbesserungen in seinem Apparate angebracht hatte, und fand:

$$D = 5{,}58.$$

(Abhandlungen der mathematisch-phyikalischen Classe der königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Erster Band, 1852, S. 385.)

Im Jahre 1878 wurden neue Versuche mit der Drehwage von Cornu und Baille angestellt und ergaben für die mittlere Dichtigkeit der Erde:

$$D = 5{,}56.$$

Eine andere Methode zur Bestimmung dieser Grösse wurde im Jahre 1824 von Carlini angewandt, der die Länge des einfachen Secundenpendels auf dem Mont Cenis bestimmte, und durch Vergleichung mit Beobachtungen, welche Biot in Bordeaux angestellt hatte, die Grösse der Anziehung des Berges und daraus die mittlere Dichtigkeit der Erde ermittelte, für die er den Werth 4,39 fand, der aber von Schmidt nach einer Revision der Rechnungen zu

$$D = 4{,}84$$

festgestellt wurde.

Andere Pendelbeobachtungen wurden in grossen Tiefen angestellt; auf diese Weise fand Drobisch 1826

$$D = 5{,}43,$$

und Airy 1856 nach der Berechnung von Haughton:

$$D = 5{,}48.$$

Eine wesentlich andere Methode wurde vor einigen Jahren von Jolly angewandt. Derselbe befestigte an der unteren Seite der Schalen einer empfindlichen Wage Drähte von 21 m Länge, welche durch Oeffnungen in der Tischplatte, auf welcher die Wage stand, hindurchgingen, und an deren unteren Enden ebenfalls Schalen befestigt waren. Die Wage hatte also jetzt vier Schalen, von denen zwei dem Mittelpunkte der Erde um 21 m näher waren als die beiden anderen. Es zeigte sich deutlich, dass ein Gewicht, welches auf eine der unteren Schalen gesetzt wurde, von der Erde stärker angezogen wurde, als wenn man es auf die gerade darüber befindliche Schale setzte. Wurde nun noch unter die unteren Schalen eine Bleikugel von 1 m Durchmesser gebracht, so zeigte sich der Unterschied noch grösser. Aus diesen Versuchen ergab sich der Unterschied zwischen der Anziehung der Erde und derjenigen der Bleikugel, und hieraus konnte die mittlere Dichtigkeit der Erde ebenfalls abgeleitet werden. Dieselbe ergab sich zu

$$D = 5{,}692.$$

Aehnliche Versuche von Poynting aus dem Jahre 1878 haben fast genau dasselbe Resultat ergeben.

Eine Modification der von Jolly angewandten Methode ist von König und Richarz vorgeschlagen, indessen sind die von ihnen angestellten Versuche, durch welche die Anziehungskraft einer parallelepipedischen Bleimasse von 2000 Centner Gewicht ermittelt werden soll, noch nicht bis zur Ableitung eines definitiven Resultates gediehen.

Die neueste Bestimmung der mittleren Dichtigkeit der Erde ist auf dem astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam von Wilsing ausgeführt. Der Apparat bestand aus einem Pendel, dessen Schneide sich sehr nahe bei dem Schwerpunkte befand, wodurch die Schwingungszeit sehr langsam wurde. Als anziehende Massen wurden zwei Cylinder von Gusseisen im Gewichte von je 325 kg benutzt, und es ergab sich als Resultat der sehr sorgfältig ausgeführten Untersuchungen:

$$D = 5{,}579.$$

(Publicationen des astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam, VI. Band, Potsdam 1889.)

110 **Dichtigkeit der Weltkörper verglichen mit der des Wassers.** Aus den im vorigen Paragraphen besprochenen Resultaten ergiebt sich, dass die mittlere Dichtigkeit der Erde etwa 5,6 mal so gross ist als die des Wassers. Da nun das specifische Gewicht der Felsmassen, welche die feste Erdrinde bilden, kaum halb so gross ist, so müssen wir schliessen, dass das Innere der Erde aus Körpern von grösserem specifischen Gewichte bestehe, als die uns zugängliche äussere Kruste.

Verglichen mit Wasser, ist das specifische Gewicht

der Sonne	1,42
des Mercur	6,57
der Venus	4,52
der Erde	5,60
des Mars	3,98
des Jupiter	1,36
des Saturn	0,72
des Uranus	1,09
des Neptun	1,68

Die mittlere Dichtigkeit der Sonne und des Jupiter ist also ungefähr die des Ebenholzes, während Saturn und Uranus in ihrer Dichtigkeit dem Rothbuchen- und Weissbuchenholz nahe stehen.

Unter allen Planeten ist also Mercur der dichteste, nach ihm die Erde. Die geringste Dichtigkeit unter allen Planeten hat der Saturn.

111 **Grösse der Schwerkraft auf der Oberfläche der Sonne und der Planeten.** Nach §. 106 ist $V = f\frac{m}{\varrho^2}$ das Maass für die

Schwerkraft auf der Oberfläche eines Weltkörpers, wenn ϱ den Halbmesser und m die Masse desselben bezeichnet.

Setzen wir die Schwerkraft auf der Oberfläche der Erde gleich 1; nehmen wir ferner die Masse der Erde zur Masseneinheit, den Radius derselben zur Längeneinheit, so wird auch f gleich 1, und wir haben alsdann für die Schwerkraft auf der Oberfläche irgend eines anderen Weltkörpers

$$V = \frac{m}{\varrho^2},$$

wenn m und ϱ in den eben bezeichneten Einheiten ausgedrückt wird. So ist der Radius des Jupiter 11,06 mal so gross als der Erdhalbmesser, und die Masse des Jupiter ist 309 mal so gross als die Masse der Erde; folglich ist für Jupiter

$$V = \frac{309}{11{,}06^2} = 2{,}53.$$

In Folge der Abplattung der Planeten und der durch ihre Rotation entstehenden Fliehkraft müssen die auf obigem Wege gefundenen Zahlen noch etwas modificirt werden. So finden sich für die Sonne, den Mond und die Planeten folgende Werthe für die Schwerkraft auf ihrer Oberfläche im Aequator:

Namen der Himmelskörper	Schwere auf dem Aequator
Sonne	27,62
Mercur	0,44
Venus	0,80
Erde	1,00
Mars	0,38
Jupiter	2,25
Saturn	0,89
Uranus	0,75
Neptun	1,56
Mond	0,18

Dieselbe Masse, welche auf der Erdoberfläche 1 Centner wiegt, würde, auf die Oberfläche der Sonne gebracht, auf ihre Unterlage einen Druck ausüben, welcher gleich ist dem Druck von 27,6 Centnern auf der Erdoberfläche, während dagegen auf dem Monde die gleiche Masse nahezu sechsmal weniger stark auf ihre Unterlage drückt als auf der Erde. Es würde ungefähr gleiche Anstrengung erfordern, um auf der Erde einen Block von 2 cbdm Eisen, auf dem Jupiter einen solchen von 1 cbdm oder auf dem Monde einen solchen von 12 cbdm Rauminhalt zu tragen.

112 **Die Störungen.** Nach dem Newton'schen Gravitationsgesetz ist die Sonne, wie dies bereits angedeutet wurde, nicht mehr ein absolut fester Punkt, und wäre ausser der Sonne nur noch ein einziger Planet vorhanden, so würde der Planet sowohl wie die Sonne um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt eine Ellipse beschreiben. Dieser gemeinschaftliche Schwerpunkt wird dem Mittelpunkte der Sonne um so näher liegen, je kleiner die Masse des Planeten im Vergleich zu dem der Sonne ist, so dass also die Ellipse, welche der Mittelpunkt der Sonne zu beschreiben hätte, sehr klein wäre im Vergleich zu der vom Planeten beschriebenen. Mag man aber die Bewegung des Planeten nun auf den gemeinschaftlichen Schwerpunkt oder auf den Mittelpunkt der Sonne beziehen, so würde seine Bahn eine rein elliptische sein, so lange nur ein einziger Planet die Sonne umkreiste.

So verhält sich aber die Sache nicht. Die Sonne wird von vielen Planeten umkreist, und jeder dieser Planeten wird nicht allein von der Sonne, sondern zugleich von allen übrigen angezogen. Daraus folgt nun, dass die Bewegung eines jeden Körpers im Planetensysteme weit verwickelter ist, als wir bisher angenommen haben. Weil aber die Masse der Sonne die Masse der Planeten so bedeutend übertrifft, so ist die wahre Bahn jedes Planeten doch nur sehr wenig von der rein elliptischen abweichend.

Die Kepler'schen Gesetze sind demnach nur als Annäherungsgesetze zu betrachten, welche nahezu die wahre Bewegung der Planeten darstellen, aber doch noch Differenzen von derselben zeigen, welche glücklicherweise nicht gross genug waren, um Kepler an der Auffindung seiner einfachen Gesetze zu hindern.

Die Anziehungen, welche ein Planet von Seiten aller übrigen erfährt, werden ihn also nur sehr wenig von der elliptischen Bahn entfernen, welche er ohnedies verfolgen würde; die Modificationen, welche auf diese Weise in der Planetenbewegung hervorgebracht werden, nennt man Störungen (Perturbationen).

Um die Untersuchung dieser verwickelten Bewegung zu erleichtern, stellt man sich einen Planeten vor, welcher sich in einer elliptischen Bahn bewegt, deren Elemente eine allmähliche Aenderung erleiden, während dann der wahre Planet bald auf der einen, bald auf der anderen Seite dieses fictiven Planeten oscillirt, ohne sich zu weit von demselben zu entfernen.

Die allmählichen Veränderungen in den Elementen der elliptischen Bewegung des fictiven Planeten nennt man säculare Störungen, die Oscillationen des wahren Planeten aber auf die eine oder andere Seite des fictiven werden periodische Störungen genannt. Die allmähliche Aenderung der Schiefe der Ekliptik, das langsame Fortrücken des Periheliums der Planeten sind solche säculare Störungen, welche die Beobachtung nachgewiesen hat und von welchen die Theorie der allgemeinen Schwere Rechenschaft giebt.

Eines der merkwürdigsten Resultate, zu denen man geführt wurde, indem man die Störungen der Planetenbahnen zu berechnen suchte, ist das, dass die grossen Axen der elliptischen Bahnen, auf welchen sich die fictiven Planeten bewegen, stets dieselben Werthe beibehalten. Die säcularen Störungen afficiren alle Elemente der elliptischen Bewegung mit Ausnahme der grossen Axe, welche stets dieselbe bleibt. Da die Umlaufszeit eines Planeten durch das dritte Kepler'sche Gesetz mit der Länge der grossen Axe verknüpft ist, so hat die Unveränderlichkeit der grossen Axe auch die Unveränderlichkeit der Umlaufszeit zur Folge.

Die Excentricität und die Neigung der Planetenbahnen erleiden allmählich fortschreitende Veränderungen. Obgleich nun aber diese Aenderungen Jahrhunderte hindurch in demselben Sinne vor sich gehen, so sind sie dennoch periodisch, wenngleich diese Perioden von sehr langer Dauer sind, so dass weder die Excentricitäten noch die Neigungen der Planetenbahnen über gewisse ziemlich enge Grenzen hinaus ab- oder zunehmen.

In der Gesammtheit der eben angedeuteten Resultate in Betreff der grossen Axen, der Excentricitäten und der Neigungen der Planetenbahnen besteht das, was man die Stabilität des Weltsystems nennt.

Die Störungen, welche ein Planet auf die übrigen und namentlich auf diejenigen ausübt, deren Bahnen der seinigen zunächst liegen, sind natürlich von seiner Masse abhängig, und so kommt es, dass man aus den durch einen Planeten erzeugten Störungen auf seine Masse schliessen kann. Dies ist nun auch der einzige Weg, auf welchem sich die Masse derjenigen Planeten ermitteln lässt, welche nicht von Trabanten umkreist sind. Es ist begreiflich, dass die aus den Störungen abgeleiteten Werthe der Massen der Planeten nicht den Grad der Genauigkeit haben wie diejenigen, welche man aus Vergleichung ihrer Trabanten berechnet.

Entdeckung des Neptun. Bouvard fand 1821, dass die von 113
Herschel gemachten Beobachtungen des Uranus sich nicht mit denjenigen Bahnelementen in Uebereinstimmung bringen liessen, welche sich aus den Beobachtungen von 1781 und 1820 ergaben; aber auch später wich Uranus wieder merklich von der Bahn ab, welche er nach den von Bouvard berechneten Tafeln hätte durchlaufen sollen. Aus den Beobachtungen von 1833 bis 1834 hat Airy nachgewiesen, dass der Radius Vector für diese Jahre von den Tafeln um eine Grösse abweiche, welche die Entfernung des Mondes von der Erde übertrifft.

Daraus ergiebt sich nun, dass die Bahnelemente des Uranus verschieden ausfallen, je nachdem man sie aus verschiedenen Beobachtungsperioden ableitet.

Schon Bouvard zeigte, dass sich diese Abweichungen nicht auf die von Jupiter und Saturn herrührenden Störungen zurückführen liessen, und dass man zu ihrer Erklärung einen noch jenseits des Uranus um die Sonne kreisenden Planeten annehmen müsse.

In einem Vortrage, den Bessel am 28. Februar 1840 in der physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg hielt, sprach er ebenfalls über die Abweichung der Bewegung des Uranus von seiner berechneten Bahn, und fügte hinzu:

„Man muss nicht etwa glauben, dass dieser merkwürdige Fall gegen die Anziehungslehre selbst stritte...... Wahrscheinlich wird gerade die Lehre von der Anziehung den hier berührten Fall endlich erklären, indem sie zugleich eine Entdeckung im Sonnensysteme ergeben wird. Fernere Versuche der Erklärung werden nämlich die Absicht verfolgen, einem unbekannten Planeten jenseits des Uranus, der vielleicht wegen zu grosser Lichtschwäche nicht sichtbar ist, eine Bahn und eine Masse anzuweisen, welche so beschaffen sind, dass daraus Störungen des Uranus hervorgehen, welche die jetzt nicht vorhandene Uebereinstimmung seiner Beobachtungen herstellen.“

In der That war Bessel ernstlich mit der Untersuchung der auf die Bewegung des Uranus wirkenden, störenden Kräfte beschäftigt, als eine unheilbare Krankheit allen seinen ferneren Arbeiten ein Ende machte.

Nachdem sich darauf Leverrier von Neuem überzeugt hatte, dass man durch die bekannten Planeten die Störungen des Uranus nicht erklären könne, unternahm er es, den Ort und die Masse des noch unbekannten Planeten zu berechnen, welcher die fraglichen Abweichungen veranlasse.

Adams in Cambridge bearbeitete gleichzeitig denselben Gegenstand, ohne dass Einer von den Bestrebungen des Anderen Kenntniss hatte. Beide Gelehrte gelangten ganz unabhängig von einander zu demselben Ziele, indem sie den Ort am Fixsternhimmel bestimmten, wo der neue Planet zu suchen sei. Ihre Resultate stimmen fast ganz genau überein.

Leverrier publicirte indess seine Arbeit früher als Adams. Am 23. September 1846 erhielt Galle in Berlin die Nachricht von dem Resultat der Leverrier'schen Rechnungen, und es gelang ihm in der That, indem er das Fernrohr nach der bezeichneten Stelle des Himmels richtete, den gesuchten Planeten aufzufinden, welcher später den Namen Neptun erhielt.

Eigenthümliche Abweichungen haben sich ferner nach Leverrier's Untersuchungen in der Bewegung des Mercur gezeigt, dessen Perihel sich um 40 Bogensecunden während eines Jahrhunderts schneller bewegt, als die Berechnung der durch die anderen Planeten bewirkten Störungen ergiebt. Leverrier vermuthete daher einen oder eine Anzahl von Planeten innerhalb der Mercurbahn, es haben sich aber solche weder jemals vor der Sonne noch bei totalen Sonnenfinsternissen mit Sicherheit nachweisen lassen, im Gegentheil ist es höchst wahrscheinlich, dass vermeintliche Beobachtungen intramercurieller Planeten auf Irrthümern beruhten. Welches die wirkliche Ursache der Anomalien in der Mercurbewegung ist, lässt sich demnach noch nicht mit einiger Sicherheit angeben.

Störungen der Kometen. Die Kometen erleiden, wenn sie in die Nähe von Planeten kommen, so grosse Störungen, dass ihre Umlaufszeit dadurch bedeutend vergrössert oder verkleinert, ja dass ihre Bahn so verändert wird, dass sie mit ihrer vorherigen Gestalt gar keine Aehnlichkeit mehr hat. 114

Ein merkwürdiges Beispiel der Art liefert uns der Lexell'sche Komet von 1770. Er hatte sich der Erde bis auf 360000 Meilen genähert, und die beobachteten Orte wichen so sehr von einer parabolischen Bahn ab, dass man für ihn eine elliptische Bahn zu berechnen suchte. In der That genügte den Beobachtungen eine Ellipse, deren grosse Axe 3,14 Erdweiten betrug, bei einer Umlaufszeit von 5 Jahren 209 Tagen.

Wenn man für die erwähnte elliptische Bahn rückwärts rechnet, so ergiebt sich, dass der Komet im Mai 1767 dem Jupiter so nahe war, dass die Wirkung dieses Planeten momentan stärker als die der Sonne sein musste; erst durch diese Einwirkung wurde der Komet in die Bahn gebracht, in welcher man ihn 1770 beobachtete, während er bis dahin eine ganz andere Bahn verfolgt hatte. In seiner neuen Bahn kam der Komet im Jahre 1776 abermals ins Perihelium, konnte aber nicht beobachtet werden, weil zu dieser Zeit die Sonne gerade zwischen den Kometen und die Erde zu stehen kam.

In der aus den Beobachtungen von 1770 berechneten Ellipse fortlaufend, musste aber dieser Komet im August 1779 dem Jupiter abermals sehr nahe, und zwar so nahe kommen, dass er zwischen dem Planeten und dem vierten Satelliten hindurchging. In dieser Nähe musste er vom Jupiter eine 24mal stärkere Wirkung erfahren als von der Sonne, und dadurch wurde er wieder vollständig aus der Bahn gebracht, die er seit 1767 verfolgt hatte, weshalb er denn auch im Jahre 1781 nicht wieder beobachtet wurde, wo man eine sichtbare Wiederkehr desselben hätte erwarten können, wenn er nicht durch jene Störungen aus der Bahn von 1770 wäre abgelenkt worden.

Am 6. Juli 1889 entdeckte Brooks in Geneva (N. Y.) einen schwachen Kometen, dessen Bahn sich bald als elliptisch herausstellte. Es zeigte sich ferner nach einer Untersuchung, welche Chandler in Cambridge (Mass.) anstellte, dass der Komet sich im Mai 1886 innerhalb des Satellitensystems des Jupiter befunden hat, und dass in dieser Zeit die Anziehung des Jupiter diejenige der Sonne gegen den Kometen derartig überwog, dass der letztere eine hyperbolische Bahn um den Jupiter beschrieb. Es zeigte sich aber ferner, dass auch schon im Jahre 1779 eine starke Annäherung desselben Kometen an den Jupiter stattgefunden habe, und dass die Bahnelemente des Brooks'schen Kometen vor 1886 und die des Lexell'schen Kometen nach 1779 eine grosse Aehnlichkeit zeigen. Es ist daher nicht unwahrscheinlich, dass im Jahre 1889 eine erneute Erscheinung des Lexell'schen Kometen beobachtet worden ist, doch sind die Untersuchungen hierüber noch nicht definitiv abgeschlossen.

Nach den früher bestimmten Bahnelementen sollte die Rückkehr des Halley'schen Kometen gegen Anfang des Jahres 1758 stattfinden. Nach Clairaut's Rechnungen hatte er aber seit seinem letzten Erscheinen bedeutende Störungen erlitten, und nach denselben war seine Rückkehr durch den Jupiter ungefähr um 518, durch Saturn um 100 Tage verzögert worden, so dass sie erst in der Mitte des April 1759 zu erwarten war. In Wirklichkeit ging der Halley'sche Komet am 12. März 1759 durch das Perihelium.

Während also einerseits die Kometen sehr bedeutende Störungen durch die Planeten erfahren, hat man bis jetzt noch keine Störungen nachweisen können, welche die Planeten durch Kometen erlitten hätten, woraus sich ergiebt, dass die Masse der Kometen sehr klein im Vergleich zu der Masse der Planeten sein muss.

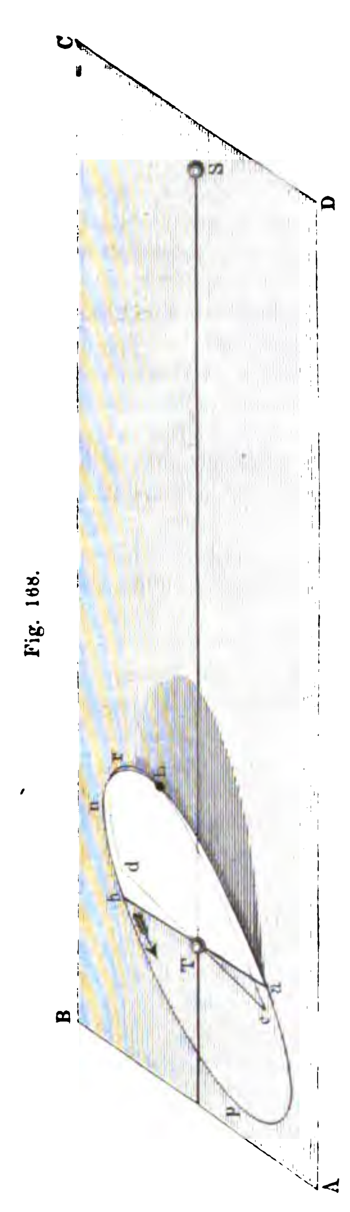
Wäre z. B. der Komet von 1770 an Masse der Erde gleich, so müsste er in seiner Erdnähe solche Störungen hervorgebracht haben, dass das Erdjahr dadurch um fast drei Stunden verlängert worden wäre. Es ist aber nicht die mindeste Verlängerung der Jahresdauer bemerkt worden, während eine Verlängerung von zwei Secunden der Beobachtung nicht hätte entgehen können, woraus dann folgt, dass die Masse des Kometen von 1770 gewiss noch nicht $1/5000$ der Erdmasse sein kann.

115 **Störungen der Mondbahn.** Die raschen Aenderungen, welchen die Elemente der Mondbahn unterworfen sind (§. 70, S. 183), sind die Folge bedeutender störender Kräfte. Für den Mond ist die Erde der Centralkörper, und wenn sie nebst dem Monde allein im Raume sich befände, so würde der Mond eine Ellipse beschreiben, deren einen Brennpunkt die Erde einnimmt und deren Gestalt ebenso unveränderlich sein würde wie ihre Lage im Raume. Nun aber wirkt die Sonne auf den Mond als störender Körper, und in Folge ihrer so bedeutenden Masse sind auch die Störungen, welche sie im Mondlaufe hervorbringt, sehr bedeutend.

Die Erde wird ebenso wie der Mond beständig von der Sonne angezogen, und indem sie ihre Bahnen durchlaufen, fallen sie gewissermaassen stets gegen diesen Centralkörper hin. Wenn nun die Anziehungen der Sonne auf den Mond und auf die Erde immer gleich wären, so würde der Fall beider Weltkörper gegen die Sonne hin ganz derselbe sein; ihre gegenseitige Stellung würde also dadurch nicht alterirt werden, der Mond würde ganz so um die Erde kreisen, als ob die Sonne gar nicht vorhanden wäre.

So verhält es sich aber nicht. Die Anziehung, welche die Sonne auf den Mond ausübt, ist bald grösser, bald kleiner, als die Kraft, mit welcher die Erde von der Sonne angezogen wird, und daraus gehen dann Störungen hervor, deren vorzüglichste Wirkungen wir schon früher kennen lernten.

Zur Zeit des Neumondes ist der Mond der Sonne näher als die Erde, also wird zu dieser Zeit der Mond stärker von der Sonne angezogen als die Erde, der Mond gravitirt schneller gegen die Sonne hin als die Erde, der störende Einfluss der Sonne wirkt also jetzt dahin, den Abstand des Mondes und der Erde zu vergrössern.


Fig. 168.

Zur Zeit des Vollmondes ist die Erde der Sonne näher, die Erde gravitirt also zu dieser Zeit stärker gegen die Sonne hin als der Mond, also auch jetzt wirkt die störende Kraft der Sonne dahin, die Entfernung der beiden Körper zu vergrössern.

Diese störende Wirkung der Sonne ist aber offenbar grösser, wenn sich die Erde in der Sonnennähe, kleiner, wenn sie sich in der Sonnenferne befindet, die Mondbahn muss sich deshalb etwas zusammenziehen, während die Erde sich vom Perihelium zum Aphelium bewegt, um sich dann wieder etwas auszudehnen, während die Erde den Bogen vom Aphelium bis zum Perihelium durchläuft.

Nach dem dritten Kepler'schen Gesetz muss aber diese Erweiterung und Zusammenziehung der Mondbahn auch ein periodisches Ab- und Zunehmen der Umlaufszeit des Mondes zur Folge haben; die Umlaufszeit des Mondes muss also ungefähr zur Zeit des Wintersolstitiums etwas grösser sein, als zur Zeit des Sommersolstitiums.

Diese periodische Aenderung in der Umlaufszeit des Mondes, welche den Namen der jährlichen Gleichung führt, war bereits von Tycho Brahe beobachtet worden. In der That ist die siderische Umlaufszeit des Mondes zu Anfang des Jahres ungefähr um $^1/_4$ Stunde grösser als in der Mitte des Jahres.

Wir wollen nun noch versuchen, so weit es auf elementarem Wege möglich ist, verständlich zu machen, wie durch den störenden Einfluss der Sonne der Rückgang der Knoten der Mondbahn bewirkt wird.

Es stelle *ABCD*, Fig. 168 (a. v. S.), ein Stück der Ebene der Erdbahn dar; *S* sei die Sonne, *T* die Erde, *aLbp* die Mondbahn, welche die Ekliptik in der Knotenlinie *ab* schneidet. Ohne die Einwirkung der Sonne würde der Mond stets in derselben Ebene sich fortbewegen, die Knotenlinie würde also unverändert bleiben. Die Einwirkung der Sonne äussert aber ein Bestreben, die Ebene seiner Bahn fortwährend zu ändern, namentlich wenn der Mond sich in denjenigen Punkten seiner Bahn befindet, welche der Sonne am nächsten und am entferntesten liegen.

In dem Punkte *L* seiner Bahn angekommen, welcher der Sonne am nächsten liegt, strebt die Einwirkung der Sonne offenbar dahin, den Mond aus der durch *T* und das Bogenstück, welches er zuletzt durchlief, gelegten Ebene herauszubringen.

Statt dass der Mond unter dem alleinigen Einfluss der Erde nun den Bogen *Lnb* zurückgelegt haben würde, beschreibt er unter dem störenden Einfluss der Sonne den Bogen *Lrd*, kurz, es verhält sich Alles so, als ob unter dem Einfluss der Sonne die Ebene der Mondbahn um die Linie *LT* gedreht würde, wodurch dann die Knotenlinie *ab* in die Lage *cd* gebracht wird; die Knotenlinie der Mondbahn muss sich also in der Ebene der Ekliptik in einer Richtung drehen, welche der Richtung entgegengesetzt ist, in welcher der Mond selbst sich bewegt.

Ganz in der gleichen Richtung strebt die Sonne die Ebene der Mondbahn zu drehen, wenn sich derselbe in dem von der Sonne entferntesten Theile seiner Bahn befindet.

So giebt denn das Gesetz der allgemeinen Schwere von allen den verschiedenen Ungleichheiten Rechenschaft, welchen die Bewegung des Mondes unterworfen ist; ohne Zweifel gehört aber dieser Gegenstand zu den schwierigsten und verwickeltsten Aufgaben der mathematischen Analysis.

116 **Ebbe und Fluth.** Die Oberfläche des Meeres zeigt regelmässige und periodische Oscillationen, welche unter dem Namen der Ebbe und Fluth oder der Gezeiten (Tiden) bekannt sind. Ungefähr sechs Stunden lang steigt das Meer, das ist die Fluth; dann fällt es wieder in den nächsten sechs Stunden, und dieses Sinken wird die Ebbe genannt. An jedem Tage findet zweimal Ebbe und zweimal Fluth statt.

Der Zeitraum, innerhalb dessen diese doppelte Oscillation vor sich geht, ist jedoch nicht genau 24 Stunden, sondern im Mittel 24 Stunden 50 Minuten 28 Secunden, gerade die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Culminationen des Mondes verstreicht. Zwischen einem Maximum der Fluth bis zum anderen liegt demnach eine Zeit von $12^h\ 25^m\ 14^s$. Wenn also an einem Tage die Fluth Mittags um 12 Uhr ihre grösste Höhe erreicht, so wird dasselbe am nächsten Tage um $12^h\ 50^m$, am zweiten um $1^h\ 41^m$, am dritten um $2^h\ 31^m$ u. s. w. stattfinden, und zwischen zwei Nachmittags- oder Abendfluthen wird dann immer eine Morgenfluth in der Mitte liegen.

Die Höhe der Fluth, d. h. der Unterschied zwischen dem Niveau des Meeres zur Zeit seines höchsten und seines darauf folgenden tiefsten Standes ist selbst für einen und denselben Ort nicht unveränderlich, sondern erleidet theils periodische, theils zufällige Schwankungen. Die letzteren werden vorzugsweise durch Winde und Stürme bedingt, welche je nach Umständen das Steigen der Fluth bald begünstigen, bald hemmen. Die periodischen Schwankungen, welchen die Höhe der Fluth unterworfen ist, sind aber in ihrem grössten Theile von den Phasen des Mondes abhängig. Die Höhe der Fluthen wird am grössten zur Zeit des Neumondes und des Vollmondes (Springfluth), sie ist am kleinsten zur Zeit der Quadraturen.

Aus alledem ersieht man, dass Ebbe und Fluth eine vorzugsweise vom Mond abhängige Erscheinung ist, und in der That tritt auch das Maximum der Fluth stets um eine bestimmte Zeit, nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian, ein. Die Uhrzeit des Hochwassers an den Tagen des Vollmondes und Neumondes nennt man die Hafenzeit (engl. Establishment); dieselbe ist von einem Orte zum anderen in Folge localer Ursachen verschieden.

So beträgt die Hafenzeit in

Plymouth	5^h	37^m	Cuxhaven	0^h	49^m
Dublin	11	12	Hamburg	5	10
Stromness (Orkney-I.)	9	0	Wilhelmshaven	0	50
Aberdeen	1	0	Boulogne	11	0
Newcastle	3	46	Cherbourg	7	49
London	1	58	St. Malo	9	51
List	2	0	Brest	3	47
Helgoland	11	33	Lissabon	2	30

Ebenso ist die Fluthhöhe sehr von localen Verhältnissen abhängig; im Mittelländischen Meere ist die Ebbe und Fluth kaum merklich, dagegen ist sie an den Küsten von Frankreich und England sehr bedeutend. So ist z. B. die Fluthhöhe bei Springfluthen über dem mittleren Niedrigwasser in

Plymouth	4,7 m	Hamburg	1,9 m
Dublin	3,7	Wilhelmshaven	3,5
Aberdeen	3,7	Boulogne	7,7
London	6,3	St. Malo	10,7
Helgoland	2,1	Brest	5,8
Cuxhaven	2,8		

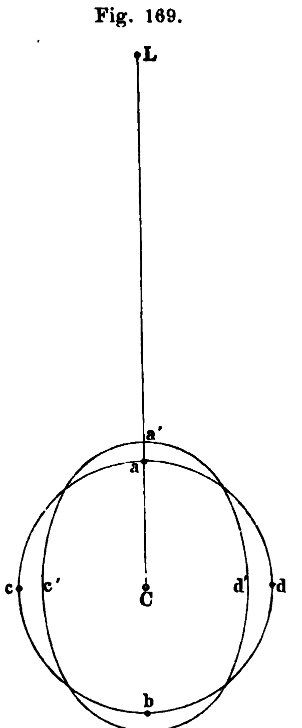
Bei Newport am Bristol-Canal erreicht die Springfluth die Höhe von 11,6 m. Die höchsten Fluthen auf der ganzen Erde hat wohl die Fundybai, an der südöstlichen Küste des britischen Nordamerika, aufzuweisen. Im Hintergrunde dieser Bai steigen die Springfluthen bis zu einer Höhe von 20 bis 23 m.

An kleinen mitten im Ocean liegenden Inseln ist die Fluth nicht bedeutend; so beträgt die Fluthhöhe auf St. Helena nur 0,3, auf den Inseln der Südsee nur 0,2 m.

Unter sonst gleichen Umständen nimmt die Fluthhöhe von dem Aequator nach den Polen hin ab; an der nördlichen Küste von Norwegen ist sie sehr unbedeutend.

117 **Mechanische Erklärung der Ebbe und Fluth.** Da alle Wirkungen im Planetensystem gegenseitig sind, so gravitirt nicht allein der Mond gegen die Erde, sondern auch die Erde gegen den Mond. Da aber nicht alle Punkte der Erdkugel in gleichem Abstande von dem Monde stehen, so sind sie auch ungleichen Anziehungskräften unterworfen und daraus eben entspringt die Ebbe und Fluth.

Fig. 169.



Wir wollen zunächst die Wirkung der anziehenden Kraft des Mondes auf das Meer unter der Voraussetzung betrachten, dass die Oberfläche des Wassers in jedem Augenblicke diejenige Form annimmt, welche durch die gemeinsame Anziehung des Mondes und der Erde bedingt wird; wir sehen also ab von allen Hindernissen, die sich der freien Bewegung des Wassers entgegenstellen können.

Es sei C der Mittelpunkt der Erde (Fig. 169), L der Mond, so wird der Punkt a der Erdoberfläche stärker vom Monde angezogen werden als C, und wenn a nicht fest mit C verbunden ist, so wird a mit grösserer Beschleunigung gegen L gravitiren als C, es wird sich ein Streben zeigen, a von C zu entfernen. Wenn sich also auf der dem Monde zugewandten Seite der Erde gerade ein grosser Ocean befindet, so wird hier das Niveau des Meeres steigen.

Ganz das Gleiche findet an der von dem Monde entferntesten Stelle b der Erdoberfläche statt. Hier in b wirkt die anziehende Kraft des Mondes geringer als in C, der Mittelpunkt der Erde gravitirt stärker gegen den Mond als b, und so wird sich auch bei den in der Nähe von b gelegenen Massen das Streben geltend machen, sich von dem Erdmittelpunkte zu entfernen.

Wäre die Erde ganz mit Wasser bedeckt, so würde die sonst kugelförmige Oberfläche derselben die Gestalt $a'c'b'd'$ annehmen; denn indem das Wasser bei a und b steigt, muss es nothwendig bei c und d sinken. Es würde also Fluth sein an den Orten, für welche der Mond im Meridian

steht, sei es nun in oberer oder unterer Culmination, Ebbe aber an den Orten, für welche der Mond gerade auf- oder untergeht.

Bezeichnen wir mit d den Abstand des Erdmittelpunktes von dem Mittelpunkte des Mondes, so ist die Kraft, mit welcher die Masseneinheit in C vom Monde angezogen wird, $\frac{fm}{d^2}$, wenn m die Masse des Mondes ist. Die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse in a vom Monde angezogen wird, ist aber $\frac{fm}{(d - r^2)}$, wenn r den Halbmesser der Erde bezeichnet; folglich ist die Differenz der Kräfte, welche in C und a wirken:

$$D = \frac{fm}{(d-r)^2} - \frac{fm}{d^2}.$$

Entwickelt man den ersten Theil dieses Werthes, indem man die Division von fm durch $(d - r)^2$ (also durch $d^2 - 2dr + r^2$) ausführt, so kommt:

$$\frac{fm}{(d-r)^2} = \frac{fm}{d^2} + \frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \text{etc.,}$$

und wenn man davon $\frac{fm}{d^2}$ abzieht, so bleibt:

$$D = \frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \text{etc.}$$

Da der Werth von d sehr gross ist im Vergleich gegen r, so kann man ohne Weiteres alle Glieder dieser Reihe vernachlässigen, welche d^4 und höhere Potenzen von d im Divisor haben; es bleibt also:

$$D = \frac{2fmr}{d^3}.$$

Nun aber bewirkt die Sonne in ganz ähnlicher Weise Ebbe und Fluth, wie der Mond, nur sind die Sonnenfluthen wegen der grösseren Entfernung der Sonne weniger hoch als die Mondfluthen. Bezeichnen wir mit m' die Masse der Sonne, mit d' ihre Entfernung von der Erde, so haben wir also für die Kraft, welche die Sonnenfluth veranlasst:

$$D' = \frac{2fm'r}{d'^3}.$$

Nun aber ist $d' = 387\,d$ und $m' = 324439.81 . m$ (da die Masse des Mondes $^1/_{81}$ von der Erde beträgt) und danach ergiebt sich dann:

$$D' = \frac{2fr . m . 324439.81}{d^3\, 387^3} = 0{,}411\,D;$$

die Höhe der Sonnenfluthen ist also nahe $^2/_5$ so gross, als die Höhe der Mondfluthen. Da sich nun zur Zeit des Neu- und Vollmondes die Sonnen- und Mondfluthen summiren, so ist die Kraft, welche die Gesammtfluth veranlasst:

$$1.4\,D.$$

Zur Zeit der Quadraturen aber fällt die Mondfluth mit der Sonnenebbe zusammen, die Gesammtfluth erreicht alsdann die Höhe

$$D - 0{,}4\,D = 0{,}6\,D,$$

zur Zeit der Syzygien erreicht also die Fluth eine mehr als zweimal grössere Höhe, als zur Zeit des ersten und letzten Mondviertels. Diejenigen Fluthen, bei welchen die Wirkung der Sonne und des Mondes sich vollständig addiren, nennt man Springfluthen, diejenigen dagegen, bei welchen sich die Wirkungen am meisten gegenseitig aufheben, Nippfluthen oder taube Fluthen.

Wäre die ganze Erdoberfläche mit Wasser bedeckt, wäre ferner die Tiefe des Meeres überall gleich und fände die Bewegung des Wassers keinen Widerstand am Grunde des Meeres, so würde der Verlauf der Ebbe und Fluth ein sehr einfacher sein. Alle Punkte, welche auf demselben Meridian liegen, müssten zu gleicher Zeit Hochwasser haben; die Fluthwellen würden, von Nord nach Süd sich erstreckend, in der Richtung von Osten nach Westen fortschreiten, und zwar würde eine solche Fluthwelle den Weg um die ganze Erde in 24 Stunden zurücklegen, am Aequator also mit einer Geschwindigkeit von 225 geographischen Meilen in der Stunde fortschreiten müssen. — Ihre grösste Höhe müsste eine Fluthwelle an derjenigen Stelle eines Meridians erreichen, an welcher der Mond durch das Zenith geht.

In Folge der ungleichen Vertheilung von Wasser und Land, sowie des Widerstandes, welchen die Bewegung der Wellen durch den Meeresboden erfährt, wird das Phänomen der Ebbe und Fluth nicht unwesentlich verändert. Die Beobachtungen ergeben nämlich, dass das Hochwasser nicht zu der Zeit der Culmination des Mondes stattfindet, sondern später, und dass die Springfluthen sich zum Theil um mehrere Tage gegen den Eintritt des Neu- oder Vollmondes verspäten. So tritt z. B. bei Brest das höchste Wasser $1^1/_2$ Tage nach den Syzygien ein, und in der Nordsee ist die Verspätung eine noch weit grössere. Es ist dies eine Folge davon, dass die Geschwindigkeit der Wellen auf der Meeresoberfläche, welche durch die Anziehung des Mondes und der Sonne entstehen, von der Tiefe des Meeres und der Configuration der Festländer bedeutend beeinflusst wird.

Newton war der Erste, welcher das Phänomen der Gezeiten durch die Attraction des Mondes und der Sonne erklärte. Er machte die Voraussetzung, dass die ganze Erde vom Wasser bedeckt sei, dass die Erde dieselbe Dichtigkeit habe wie das Wasser, und dass die Oberfläche des Meeres in jedem Augenblicke diejenige Gestalt annähme, bei welcher es sich unter der anziehenden Kraft des Mondes, der Sonne und der Erde im Gleichgewicht befände. Dabei fand sich, was wir ebenfalls oben gefunden haben, dass die Kraft, mit welcher eine Masseneinheit des Wassers durch die Anziehung eines Gestirns vom Erdmittelpunkte entfernt wird, direct proportional der Masse des anziehenden Körpers und umgekehrt

proportional dem Würfel seiner Entfernung vom Erdmittelpunkte ist. Da aber diese Entfernung sowohl bei der Sonne als auch beim Monde periodisch veränderlich ist, so ist auch die Fluthhöhe veränderlich und hat zwei Perioden, deren eine einen Mondmonat und die andere ein Jahr umfasst. Wir fanden für die Kraft, mit welcher der Mond den Punkt a (Fig. 169) vom Mittelpunkte C der Erde zu entfernen strebt, $D = \frac{2fmr}{d^3}$. In der Entfernung d zieht aber der Mond den Mittelpunkt der Erde mit einer Kraft $\varDelta$ zu sich, welche $= \frac{fm}{d^2}$ ist, und es ist demnach $\frac{D}{\varDelta} = \frac{2r}{d}$, d. h. es verhält sich die flutherzeugende Kraft des Mondes zu der Anziehung des Mondes gegen den Mittelpunkt der Erde, wie der Durchmesser der Erde zu der Entfernung des Mondes von der Erde. Ganz ebenso verhält sich die flutherzeugende Kraft der Sonne zu der Kraft, mit welcher die Erde von der Sonne angezogen wird, wie der Durchmesser der Erde zu der Entfernung der Erde von der Sonne. Da nun die Entfernung des Mondes von der Erde 30 mal und die der Sonne von der Erde 12 000 mal so gross ist, wie der Durchmesser der Erde, so ergiebt sich, dass der 30. Theil der Anziehung des Mondes, und der 12 000. Theil der Anziehung der Sonne auf die Bildung der Fluth wirkt. Da ferner die anziehende Kraft der Sonne gegen die Erde 160 mal so gross ist wie die des Mondes, so verhält sich die fluthbildende Kraft des Mondes zu derjenigen der Sonne wie 12 000 : 160 . 30 oder wie 10 : 4, sowie wir auch oben gefunden haben.

Im Verhältniss zu der Kraft, mit welcher ein Punkt auf der Oberfläche der Erde von der Erde selbst angezogen wird, ist die flutherzeugende Kraft des Mondes und der Sonne äusserst gering. Wird die Masse der Erde mit μ bezeichnet, so ist die Kraft, mit welcher ein Punkt a der Erdoberfläche (Fig. 169) nach dem Mittelpunkte der Erde gezogen wird, $\delta = \frac{f\mu}{r^2}$. Die Kraft, mit welcher der Mond den Punkt a vom Mittelpunkte der Erde zu entfernen strebt, war dagegen $D = \frac{2fmr}{d^3}$, und es ist also $\frac{D}{\delta} = \frac{2r^3m}{\mu d^3}$. Nun ist die Masse des Mondes $^1/_{80}$ der Masse der Erde, und seine Entfernung $d = 60r$, also haben wir:

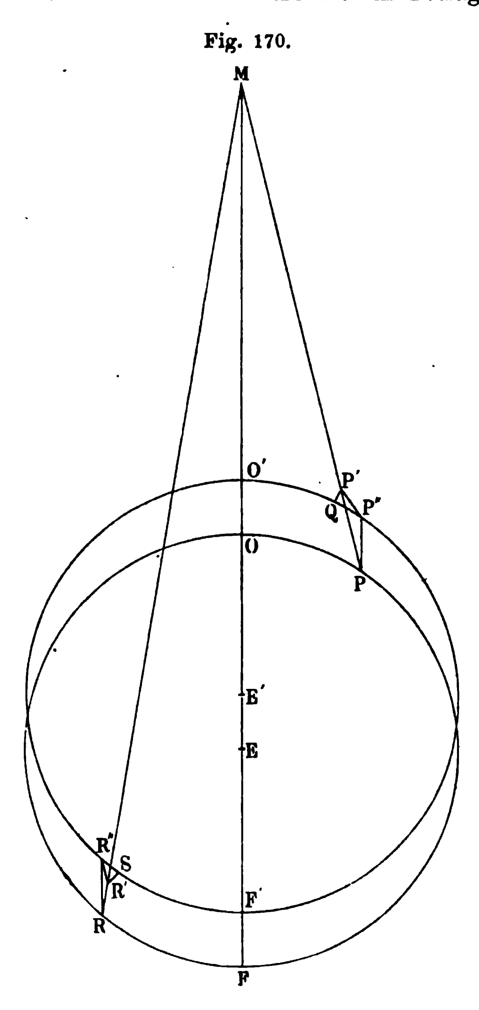
$$\frac{D}{\delta} = \frac{2}{60^3 . 80} = \frac{1}{8{,}6 \text{ Millionen}}.$$

Für die Sonne findet sich der entsprechende Werth $\frac{D'}{\delta} = \frac{2}{5} \cdot \frac{D}{\delta}$ $= \frac{1}{21{,}5 \text{ Millionen}}$. Befindet sich demnach der Mond im Zenith des Punktes a, so wird das Gewicht irgend eines in a befindlichen Gegen-

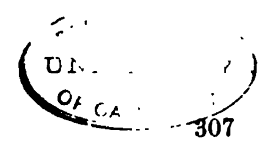
standes durch die Einwirkung des Mondes um seinen neunmillionten Theil verringert; es ist dieses eine Gewichtsveränderung, welche selbst mit den schärfsten Instrumenten nicht direct nachgewiesen werden kann.

Wenn diese geringe flutherzeugende Kraft trotzdem im Meere Niveauunterschiede von sehr merkbarem Betrage hervorrufen kann, so liegt dies daran, dass wir hier die Gesammtwirkung auf eine sehr grosse Anzahl von Wassertheilen beobachten.

Fig. 170.



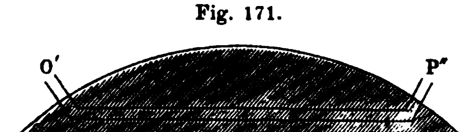
Es sei in E (Fig. 170) der Mittelpunkt der Erde, in M der Mittelpunkt des Mondes. In irgend einer Zeiteinheit wird E sich durch die Anziehung des Mondes nach E' bewegen. Ein Punkt P auf der Oberfläche des Meeres wird in derselben Zeiteinheit ebenfalls in der Richtung nach M fallen, und möge nach P' kommen, so dass $PP' > EE'$ ist. Wäre die Erde eine starre Masse, so würde P sich in derselben Zeit nicht nach P', sondern nach P'' bewegt haben, so dass PP'' gleich und parallel EE' wäre. Das Wassertheilchen P hat also das Bestreben, ausser der Bewegung, welche es in Folge der Bewegung des Erdmittelpunktes annimmt, sich noch von P'' nach P' zu bewegen. Die Kraft, welche das Theilchen zu bewegen strebt, wollen wir ihrer Grösse und Richtung nach durch die Linie $P'P''$ darstellen. Wir können uns dieselbe noch wieder in zwei Kräfte $P'Q$ und $P''Q$ zerlegt denken, von denen die eine $P'Q$ normal gegen die Oberfläche des Meeres wirkt, und bestrebt ist, das Gewicht des Wassertheilchens zu verringern, während die andere ($P''Q$) tangential gegen die Erdoberfläche wirkt, und dem Wassertheilchen eine seitliche Bewegung in der Richtung nach dem Punkte O' ertheilt, in welchem der Mond sich im Zenith befindet. Es lässt



sich nun leicht zeigen, dass durch jede dieser beiden Kräfte eine Erhöhung der Wasserfläche entstehen muss, welche in O' ihr Maximum hat.

Denken wir uns eine Röhre, welche in O' und P'' (Fig. 170 und 171) aufwärts gebogen ist, deren übriger Theil sich aber unter der Wasseroberfläche befindet. Wir wollen zunächst annehmen, dass das Wasser in der Röhre unter dem alleinigen Einflusse der Erdanziehung im Gleichgewichte ist. Tritt dann eine Anziehung des Mondes M ein, den wir uns im Zenith von O' vorstellen, so wird diese Anziehung in O' stärker wirken als in P'', es wird also derselbe Fall eintreten, als wenn der nach O' gelegene Theil der Röhre mit einer leichteren Flüssigkeit gefüllt wäre, als der nach P'' gelegene. Das Wasser in der Röhre muss also bei O' höher steigen als bei P'', und zwar wird der Unterschied um so grösser sein, je länger die Röhre ist, d. h. je weiter O' von P'' entfernt ist, und sein Maximum dann erreichen, wenn für P'' der Mond im Horizont steht. Es hat aber, wie vorhin gezeigt ist, auch jedes Wassertheilchen in der Röhre das Bestreben, sich in der Richtung nach O' fortzubewegen; hierdurch wird ein Druck auf alle weiter vorn befindlichen Wassertheilchen ausgeübt, und in Folge dessen wird ebenfalls ein Steigen des Wassers in O'

Fig. 171.



und ein Fallen in P'' bewirkt. Man kann sich aber die um O' befindliche Wasserfläche als aus einer grossen Anzahl einzelner Röhren zusammengesetzt denken, und es folgt daraus, dass durch den Einfluss des Mondes das Wasser in O' um so höher steigen muss, je grösser die um O' befindliche Wasserfläche ist.

Dass auf der vom Monde abgekehrten Seite der Erde ähnliche Verhältnisse stattfinden, lässt sich gleichfalls leicht zeigen.

In der Zeit, während welcher der Erdmittelpunkt durch die Anziehung des Mondes von E nach E' fällt, würde, wenn die Erde starr wäre, ein Punkt R auf der Erdoberfläche sich nach R'' bewegen, so dass RR'' gleich und parallel EE' ist. Dagegen hat der Punkt R das Bestreben, sich während derselben Zeit in der Richtung RM nach dem Monde M zu bewegen, und zwar nach einem Punkte R' hin, der wegen der grösseren Entfernung von M näher bei R liegt, als E' von E. Ausser der Bewegung, welche der Punkt R in Folge des Fallens der Erde gegen den Mond erhält und welche ihn nach R'' bringen würde, hat er demnach noch das Bestreben, sich von R'' nach R' zu bewegen. Die Kraft, welche ihn dorthin zu bewegen strebt, können wir wieder in zwei Kräfte zerlegen, von denen die eine, die wir mit $R''S$ bezeichnen wollen, den Punkt nach F' hin bewegt, wo der Mond sich im Nadir befindet, während der andere ihn von dem Mittelpunkte E' der Erde zu entfernen

strebt. Beide Wirkungen werden sich wieder vereinigen, um die Oberfläche des Wassers in der Nähe von F' zu erhöhen, und zwar um so mehr, je ausgebreiteter die um F' befindliche Wassermasse ist.

Wäre die Erdoberfläche ganz vom Wasser bedeckt, und nähme sie in jedem Augenblicke die Gestalt an, welche die Anziehung der Erde selbst, sowie der Sonne und des Mondes ihr mitzutheilen streben, so würde die grösste Fluthhöhe im Meere den Betrag von nicht ganz einem Meter haben. In einem eingeschlossenen Meeresbecken von Dimensionen, welche gegen die Oberfläche der Erde sehr klein sind, würde aber die Fluthhöhe sehr viel geringer sein, und die Folge davon ist, dass man in solchen Meeresbecken, wie z. B. dem Caspischen, Schwarzen und selbst im Mittelländischen Meere, nur sehr geringe Spuren der Ebbe und Fluth wahrnimmt.

Es habe nun an irgend einem Punkte der Meeresoberfläche die Fluth, soweit sie von der Sonne allein hervorgebracht wird, eine Höhe von 20 cm, so wird die durch den Mond hervorgebrachte Fluth, da seine flutherzeugende Kraft, wie oben gezeigt, $2^1/_2$ mal so gross ist, als die der Sonne, eine Höhe von 50 cm haben. Zur Zeit der Syzygien (Neu- und Vollmond) werden die beiden genannten Fluthen zusammenfallen, ihre Gesammthöhe wird also 70 cm betragen. Zur Zeit der Quadraturen (erstes und letztes Viertel des Mondes) fällt dagegen die Mondfluth mit der Sonnenebbe zusammen, die Fluthhöhe beträgt dann also nur 30 cm. Der Mond hat aber nicht immer die gleiche Entfernung von der Erde, sondern dieselbe kann sich gegen ihren mittleren Betrag um ihren 18. Theil vergrössern oder verkleinern. Es ist aber oben gezeigt, dass die flutherzeugende Kraft umgekehrt proportional dem Cubus der Entfernung ist; setzen wir demnach die flutherzeugende Kraft des Mondes in seiner mittleren Entfernung $A = V$, in der Entfernung $A \pm \frac{1}{18} A = V'$, so ist

$$\frac{V}{V'} = \left(A \pm \frac{1}{18} A\right)^3 : A^3$$

$$= \left\{A \left(1 \pm \frac{1}{18}\right)\right\}^3 : A^3$$

$$= A^3 \left(1 \pm \frac{1}{6} + \frac{3}{18^2} \pm \frac{1}{18^3}\right) : A^3$$

oder sehr nahe

$$= A^3 \left(1 \pm \frac{1}{6}\right) : A^3,$$

also

$$V = V' \left(1 \pm \frac{1}{6}\right).$$

Es kann sich demnach die flutherzeugende Kraft des Mondes gegen ihren mittleren Betrag um ihren sechsten Theil vergrössern oder verringern, und da wir sie in unserem Beispiele im Mittel zu 50 cm annahmen, so kann sie zwischen 42 und 58 cm variiren. Die höchste Fluth würde hiernach den Betrag 78, die niedrigste 22 cm betragen.

Ebenfalls hat die verschiedene Entfernung der Sonne einen Einfluss auf die Fluthhöhe; da sie sich aber nur um ihren 60. Theil gegen den mittleren Betrag vergrössern oder verringern kann, so kann die fluthherzeugende Kraft der Sonne sich nur um ihren 20. Theil verändern. Da wir die mittlere Sonnenfluth zu 20 cm annahmen, so kann demnach die höchste Springfluth bis auf 79, die niedrigste Nippfluth bis auf 21 cm kommen.

Wir haben bisher noch nicht untersucht, wie sich die Höhe einer Zenithfluth zu derjenigen der gleichzeitigen Nadirfluth verhält. Die flutherzeugende Kraft des Mondes in a (Fig. 169) fanden wir zu

$$\frac{2fmr}{d^3} + \frac{3fmr^2}{d^4} + \cdots$$

Wir wollen diese Kraft jetzt mit $D_{(a)}$ bezeichnen. Die flutherzeugende Kraft in b würde sich dagegen folgendermaassen ergeben:

$$D_{(b)} = \frac{2fmr}{d^3} - \frac{3fmr^2}{d^4} + \cdots$$

Es ergiebt sich also die Differenz zwischen den flutherzeugenden Kräften in a und b, wenn wir von höheren Potenzen von $\frac{1}{d}$ absehen,

$$D_{(a)} - D_{(b)} = 6\frac{fmr^2}{d^4}.$$

Nun war aber $D_{(a)}$ genähert $= \frac{2fmr}{d^3}$, und demnach, für unseren Zweck mit hinreichender Genauigkeit,

$$D_{(a)} - D_{(b)} = 3\frac{r}{d} \cdot D_{(a)}.$$

Für den Mond ist $\frac{r}{d} = \frac{1}{60}$, und da wir in unserem Beispiele $D_{(a)} = 50$ cm annahmen, so wird $D_{(a)} - D_{(b)} = 2{,}5$ cm, und also $D_{(b)} = 47{,}5$ cm.

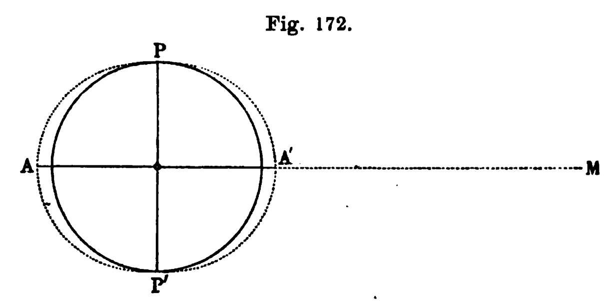
Mit Rücksicht hierauf kann demnach die niedrigste Nippfluth den Betrag von 18,5 cm haben. Bei der Sonne ist der Unterschied zwischen Zenith- und Nadirfluth völlig bedeutungslos, weil hier $\frac{r}{d}$ nur den Betrag von $\frac{1}{23000}$ hat, woraus sich in unserem Beispiel $D_{(a)} - D_{(b)}$ zu $^1/_{40}$ mm ergiebt.

Es lässt sich übrigens leicht sehen, dass für einen bestimmten Beobachtungsort die Höhe der Fluth auch von der geographischen Breite und der Declination des Mondes und der Sonne abhängig ist.

Nehmen wir zunächst an, dass sich das anziehende Gestirn M (Fig. 172, a. f. S.) in der Ebene des Aequators befindet, dann wird offenbar die höchste

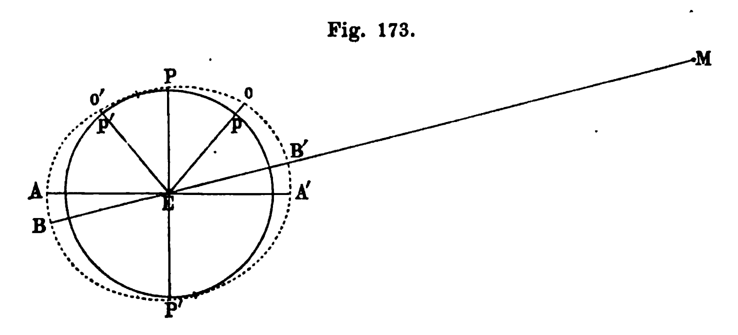
Fluth an denjenigen Punkten der Erdoberfläche stattfinden, welche sich auf dem Erdäquator AA' befinden; in höheren Breiten wird dagegen die Höhe der Fluth successive geringer und an den Polen P und P' wird sie völlig verschwinden. Es geht hieraus also hervor, dass die Fluthhöhe eine Function der geographischen Breite ist. Wenn aber der Mond sich nördlich oder südlich vom Aequator befindet (Fig. 173), so

Fig. 172.



wird die höchste Fluth nicht mehr unter dem Aequator AA', sondern in jedem Augenblicke an zwei Punkten B und B' stattfinden, von denen der eine den Mond im Zenith und der andere im Nadir hat; auch an den Polen P und P' wird jetzt ein kleiner Fluthwechsel stattfinden. In diesem Falle wird aber für jeden Ort, welcher sich nicht gerade auf dem Aequator oder einem der Pole befindet, die Höhe der Fluth eine verschiedene sein, je nachdem der Mond sich in der oberen oder unteren Culmination befindet. Es sei z. B. o (Fig. 173) ein Punkt der Meeres-

Fig. 173.

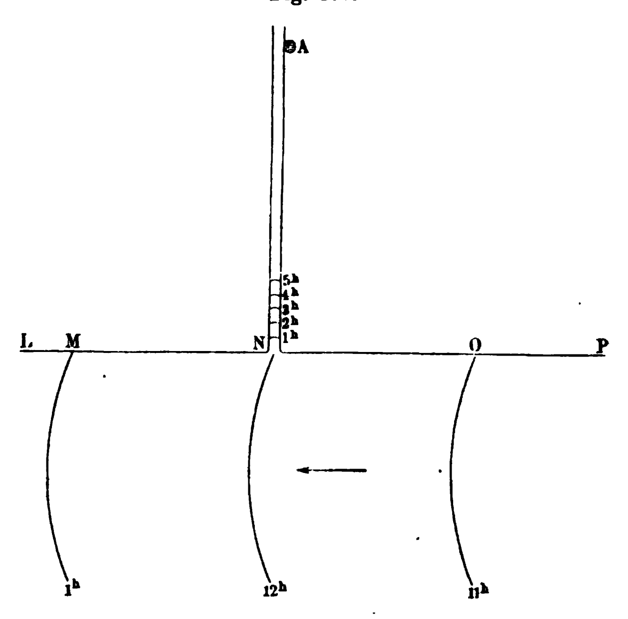


oberfläche, für den der Mond in oberer Culmination ist, so würde op den Betrag der Fluth bezeichnen. Nach 12 Stunden ist aber der Punkt, welcher vorher in o war, nach o' gekommen, wo der Mond in unterer Culmination ist, und es wird dann, wie die Figur sofort ergiebt, der Betrag $o'p'$ der Fluth geringer sein als op. Hierdurch entsteht die sogenannte tägliche Ungleichheit der Fluthhöhe, deren Betrag von der geographischen Breite des Beobachtungsortes und der Declination des anziehenden Gestirnes abhängig, übrigens immer sehr unbedeutend ist.

Bei Festhaltung der Zahlen unseres Beispieles beträgt der Unterschied zwischen den halbtäglichen Fluthen höchstens 2 bis 3 cm.

Wir haben bisher vorausgesetzt, dass die ganze Erdoberfläche in gleichmässiger Tiefe vom Meere bedeckt ist, und dass die Meeresoberfläche in jedem Augenblicke sofort die Gestalt annimmt, welche allein durch die anziehenden Kräfte bedingt wird. In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse aber sehr verschieden von unserer Annahme, da nur zwei Drittheile der Erdoberfläche vom Wasser, und zwar in sehr verschiedener Tiefe bedeckt sind. Es ist ferner Rücksicht darauf zu nehmen, dass jede vorübergehende Erhöhung der Meeresfläche W e l l e n b e w e g u n g e n hervorruft, und dass diese Bewegungen sowohl in ihrer Richtung als

Fig. 174.



auch in ihrer Grösse abhängig sind von der Tiefe der Wasserbecken, über welche sie hinstreichen, und von den Configurationen der Begrenzungen dieser Becken.

Es sei LP (Fig. 175) ein in der Richtung von Westen nach Osten sich erstreckendes Meeresufer, südlich davon sei Wasser, nördlich Land. Durch das Land erstrecke sich nach Norden hin ein Canal NA, in A sei ein Beobachtungsort für die Gezeiten, also ein Pegel, der regelmässig abgelesen wird. Wir wollen voraussetzen, dass an einem bestimmten Tage, z. B. dem 5. Mai, genau 12 Uhr Mittags, Neumond sei, und die Sonne und der Mond um dieselbe Zeit am Orte N culminiren. Nach unserer bisherigen Annahme, dass der Bewegung der Fluthwellen kein Hinderniss entgegenstehe, würde also das Hochwasser an diesem Tage

bei N genau um 12^h Mittags stattfinden, während die Fluthwelle sich um 11^h bei O und um 1^h bei M befinden würde.

In dem Canal wird nun ebenfalls die Wellenbewegung fortschreiten, indessen wegen der Reibung, welche das Wasser an den Ufern erfährt, mit sehr verringerter Geschwindigkeit. Für jeden einzelnen Punkt des Canals, z. B. A, wird ebenso, wie im offenen Meere, täglich zweimal eine Fluth eintreten müssen, eine aufmerksame Beobachtung der Fluthhöhen wird aber zeigen, dass die Springfluthen später als die Syzygien eintreten. Wenn z. B. die Fluthwellen 51 Stunden gebrauchen, um von N nach A zu gelangen, so wird in unserem oben angenommenen Falle die Springfluth bei N am 5. Mai 12 Uhr Mittags, dagegen bei A erst am 7. Mai 3 Uhr Nachmittags stattfinden. An diesem Tage culminirt der Mond aber erst um 1^h 41^m, und es tritt also die Springfluth drei Stunden nach der Culmination der Sonne und 1^h 19^m nach der Culmination des Mondes ein. Am 5. Mai, dem Tage des Syzygiums, wird zwar bald nach der gleichzeitigen Culmination der Sonne und des Mondes ebenfalls eine Fluth stattfinden, und zwar um 1^h 19^m Nachmittags, dieselbe wird aber weniger hoch sein als diejenige vom 7. Mai. Abgesehen von dieser Verspätung und einer gewöhnlich eintretenden Veränderung der absoluten Höhe der Fluthwellen sind aber im Allgemeinen die Erscheinungen der Ebbe und Fluth an jedem Punkte des Canals dieselben, wie im offenen Meere.

In früherer Zeit nahm man vielfach an, und diese Annahme ist namentlich durch den Engländer Whewell vertreten, dass nur der Grosse Ocean eine genügende Wasserfläche für die Bildung einer selbständigen Fluthwelle besässe, und dass die dort entstehenden Wellen sich in ähnlicher Weise in den Indischen und Atlantischen Ocean fortpflanzten, wie es in einem Canale der Fall sein würde. Whewell versuchte es auch, den Verlauf der Fluthwellen in einer Karte graphisch darzustellen, indem er die Küstenorte verschiedener Continente, an welchen die Fluth gleichzeitig eintritt, durch Curven verband, denen man den Namen Isorachien oder Homopleroten gab. Whewell selbst hat indessen später eingesehen, dass über den Verlauf der Fluthwellen im offenen Meere, da hier keine Fluthbeobachtungen angestellt werden können, eine völlige Ungewissheit herrscht, und dass daher die von ihm früher gezeichneten Isorachien keine reelle Bedeutung haben. In der That ist aber auch die Voraussetzung, von welcher Whewell ausging, wonach nur im Grossen Ocean sich eine selbständige Fluthwelle bilden könne, eine irrige. In kleineren eingeschlossenen Seen, wie z. B. dem Michigansee, ist deutlich ein Fluthwechsel, wenngleich von geringer Höhe, erkennbar, um so mehr muss sich in ausgebreiteten Meeren, wie dem Atlantischen Ocean, ein solcher ausbilden.

Sehr eigenthümliche Erscheinungen können eintreten, wenn die Wellen verschiedener Fluthsysteme zusammentreffen. Es können dann Interferenzerscheinungen entstehen, in Folge deren die Gezeiten ganz

oder theilweise verschwinden, anderentheils aber können sich die Wirkungen der Gezeiten summiren, wodurch sie bedeutend vergrössert werden. Die grössten Höhen erreicht aber die Fluth in Buchten, in denen das Wasser sich staut und die eindringende Fluthwelle mit dem aus der Bucht zurückfliessenden Wasser zusammentrifft. Auf diese Weise entstehen die grössten Fluthen, welche auf der ganzen Erde beobachtet werden, wie z. B. in St. Malo, dem Bristol Canal und namentlich der Fundybai.

Einen wie grossen Einfluss die Tiefe und Weite der Meere auf die Geschwindigkeit der Fluthwellen hat, zeigt sich besonders deutlich an den Küsten Grossbritanniens. Eine vom Atlantischen Meere sich ostwärts bewegende Fluthwelle trennt sich südlich von Irland in drei Wellen, deren eine sich durch den Canal, die zweite durch die Irische See und die dritte westlich von Irland nach Norden bewegt. Nach sieben Stunden ist die erste bis Dover, die zweite bis zur Insel Man gelangt, während die dritte sich mit grosser Geschwindigkeit an der Nordspitze von Schottland vorbei bis östlich von den Orkney-Inseln fortbewegt hat. Diese letztere schreitet dann in der Richtung nach Süden mit abnehmender Geschwindigkeit durch die Nordsee vor, und gelangt nach weiteren 12 Stunden in die Gegend von Dover, wo sie mit einer Welle zusammentrifft, welche sieben Stunden vorher westlich in den Canal eingedrungen war.

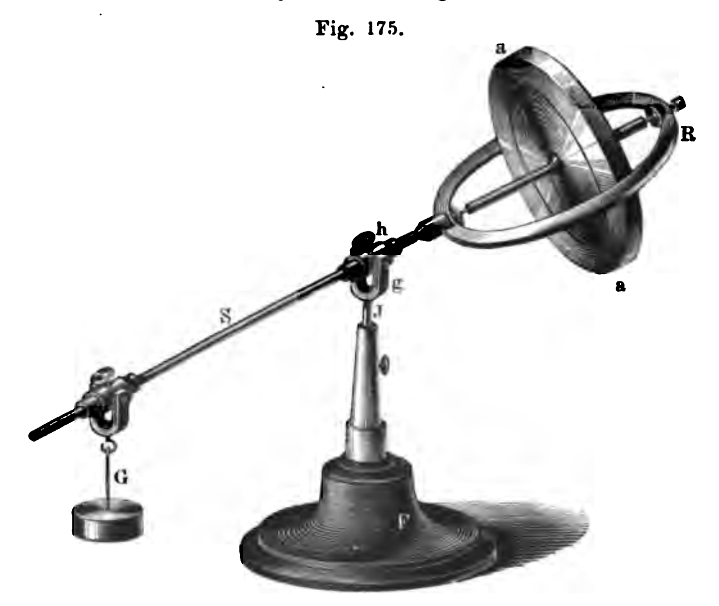
In eingeschlossenen Meeresbecken von grösserer Ausdehnung wird durch die Anziehung des Mondes und der Sonne ebenfalls eine Fluthwelle sich von Osten nach Westen fortbewegen, muss aber darauf, da sie westlich nicht entweichen kann, wieder nach Osten zurückkehren. Auf diese Weise werden regelmässige Oscillationen der Wasserfläche entstehen müssen, deren Periode von der Tiefe des Wassers und der Configuration der Küste abhängt. Daneben werden aber auch fortwährend neue periodische Wellenbewegungen durch den Mond und die Sonne hervorgebracht; dieselben können sich mit den eben erwähnten Wellensystemen derart vereinigen, dass ihre Höhe vergrössert wird, zum Theil können aber auch Interferenzen eintreten, welche bewirken, dass keine oder sehr geringe Wellenbewegungen eintreten. So ist es vielleicht zu erklären, dass im Mittelländischen Meere an den meisten Stellen der Fluthwechsel höchst unbedeutend, an anderen dagegen sehr merklich ist. Ferrel hat auch die Erscheinung, dass im nördlichen Atlantischen Ocean die Fluthwellen von ganz besonders grosser Höhe sind, durch ähnliche Ursachen erklären wollen. Durch Interferenz können mitunter auch die Wirkungen einzelner Componenten der flutherzeugenden Kraft aufgehoben werden. So ist z. B. bei Tahiti die Sonnenfluth grösser als die Mondfluth, wodurch bewirkt wird, dass der Fluthwechsel immer nahe zu denselben Tageszeiten eintritt; dieselbe Erscheinung findet sich bei Courtown an der östlichen Küste von Irland, und bei Tonkin findet täglich nur eine einmalige Fluth statt.

Bei Neu Guinea ist vorwiegend eine Sonnenfluth bemerkbar, welche eine sehr starke tägliche Ungleichheit hat, so dass zur Zeit der Springfluthen fast nur ein Hochwasser täglich bemerkbar wird. Die Mondfluth mit halbmonatlicher und ebenfalls starker täglicher Ungleichheit bewirkt eine kleine Veränderlichkeit in der Zeit und Höhe der Hauptfluth.

Aus Obigem geht hervor, dass das Phänomen der Gezeiten ein höchst complicirtes ist, und es wird wohl schwerlich jemals gelingen, eine nach allen Richtungen befriedigende Theorie über die Flutherscheinungen aufzustellen. Entgegen der Voraussetzung von Laplace, welcher in seinen grundlegenden Untersuchungen über die Bewegung der Fluthwellen die Annahme machte, dass die ganze Oberfläche der Erde vom Wasser bedeckt sei, hat Airy in seinen die Gezeiten behandelnden Arbeiten die Erscheinung der Ebbe und Fluth als eine Wellenbewegung in einem, die Erde in einem grössten Kreise umgebenden, verhältnissmässig engen Canal betrachtet. Weder diese noch die Vorausetzung, welche Laplace machte, entspricht im Allgemeinen der Wirklichkeit, und so ist es noch nicht gelungen, für irgend einen Ort die Hafenzeit theoretisch ohne Zuhülfenahme von Beobachtungen zu berechnen.

118 **Erklärung der Präcession.** Die Erscheinung der Präcession selbst haben wir bereits in §. 35 kennen gelernt; die mechanische Er-

Fig. 175.

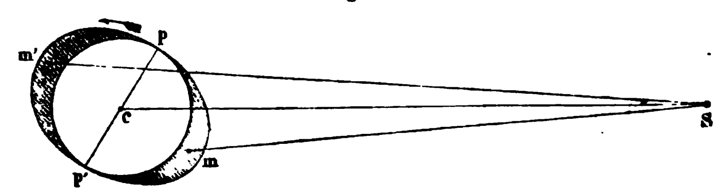


klärung derselben ergiebt sich aus den Erscheinungen, welche in §. 74 des ersten Bandes des Lehrbuches der Physik (9. Aufl., S. 326) besprochen wurden. Zur Erläuterung der Präcessionserscheinung wollen wir aber zunächst noch ein Gyroskop von etwas veränderter Construction be-

trachten, wie solches in Fig. 175 dargestellt ist. Der Ring *R*, innerhalb dessen die metallene Scheibe *a* rotirt, ist an einem Stabe *S* befestigt, welcher mittelst eines horizontalen Stiftes in der Gabel *g* befestigt ist. Die Gabel *g* sitzt am Ende eines Stahlstäbchens *J*, dessen untere Hälfte in einer vertical stehenden Hülse steckt, so dass die ganze obere Vorrichtung um die verticale Axe *J* und um den horizontalen Stift in *g* drehbar ist.

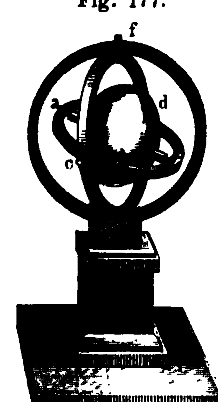
An dem Stäbchen *S* ist eine Hülse verschiebbar, an welche das Gewicht *G* angehängt werden kann. Denken wir uns dasselbe vor der Hand noch weg und die Metallscheibe *a* in Rotation versetzt, so erfolgt die Drehung des Apparates um die verticale Axe *J* ganz so, wie wir sie bei dem Gyroskop, Fig. 313, des Lehrbuches der Physik kennen gelernt haben. Wird ein Gewicht *G* angehängt, welches dem Uebergewicht der Scheibe *a* nur theilweise das Gleichgewicht hält, so findet die Rotation

Fig. 176.



um die Axe *J* in unveränderter Richtung, aber mit verringerter Geschwindigkeit statt. Hat das Gewicht *G* eine solche Grösse, dass es dem Uebergewichte der rotirenden Scheibe gerade das Gleichgewicht hält, dass also keine Kraft mehr vorhanden ist, welche den Winkel, welchen das Stäbchen *S* mit der Verticalen macht, zu verändern strebt, so hört die Drehung des Apparates um die verticale Axe *J* ganz auf, wenn auch die Scheibe *a* in Rotation ist. Ist endlich das Uebergewicht auf der Seite des angehängten Gewichtes *G*, so erfolgt die Drehung des Apparates um die Axe *J* in einer Richtung, welche der zuerst besprochenen entgegengesetzt ist.

Fig. 177.



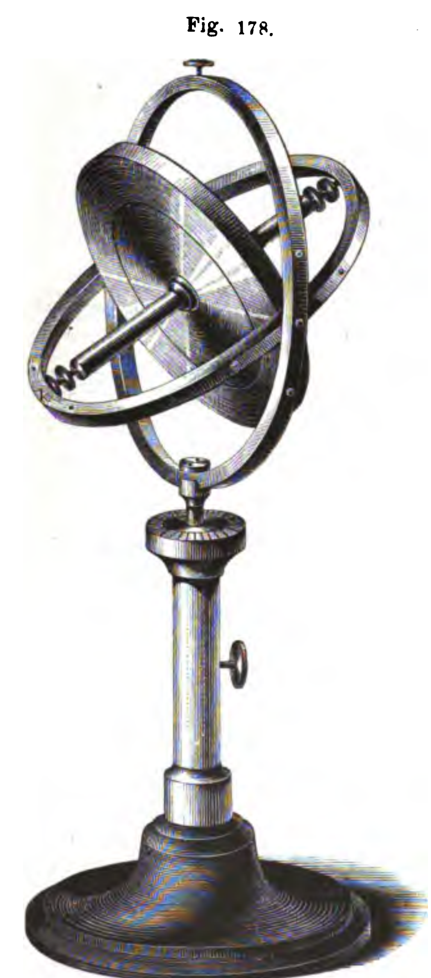
Wenn das Gewicht *G* so gestellt ist, dass keine Drehung um die verticale Axe *J* stattfindet, so wird, wenn man den ganzen Apparat frei im Zimmer herumträgt (wobei jedoch die Axe *J* stets vertical gehalten werden muss), die Richtung des Stäbchens *S* und der Rotationsaxe der Scheibe *a* doch ganz unverändert bleiben, oder mit anderen Worten, das Stäbchen *S* sowohl wie auch die Umdrehungsaxe der Scheibe *a* werden parallel mit sich selbst verschoben.

Aehnliche Verhältnisse kommen nun auch bei der Erde vor; sie rotirt um eine Axe, welche einen bestimmten Winkel mit der Ebene der

Ekliptik macht, während Kräfte auf sie wirken, welche dahin streben, die Umdrehungsaxe der Erde rechtwinkelig zur Ekliptik zu stellen.

Die Kraft, welche die Erdaxe rechtwinkelig auf die Ebene der Ekliptik zu stellen strebt, rührt von der Anziehung her, welche die Sonne und der Mond auf die Erde ausüben. Wenn die Erde eine vollkommene Kugel und ihre Masse gleichförmig um ihren Mittelpunkt vertheilt wäre, so würde die Resultirende aller Wirkungen, welche die Sonne und der Mond auf die einzelnen Theile der Erde ausüben, durch ihren Mittelpunkt gehen. Diese Resultirende könnte also keinerlei Einfluss auf die Rotationsaxe der Erde ausüben, dieselbe würde stets mit sich selbst parallel im Raume fortschreiten.

Fig. 178.



Nun aber ist die Erde abgeplattet, und deshalb kann man sie als eine Kugel betrachten, deren Radius dem halben Polardurchmesser gleich, und welche noch mit einem Wulst bedeckt ist, welcher, am Aequator am dicksten, nach den Polen zu abnimmt, wie dies Fig. 176 (a. v. S.) in übertriebener Weise angedeutet ist, welche die Stellung der Erde gegen die Sonne zur Zeit des Sommersolstitiums darstellt.

Betrachten wir nun die Wirkung der Sonne S auf den Aequatorialwulst für sich, so ist klar, dass die Kraft, mit welcher die Einheit der Masse bei m von der Sonne angezogen wird, grösser ist als die Anziehung, welche die Sonne auf eine gleich grosse Masse bei m' ausübt; die Wirkung der Sonne auf den fraglichen Wulst strebt also dahin, die Erde in der Richtung des Pfeiles um eine Axe zu drehen, welche in der Ebene der Ekliptik liegt und senkrecht auf SC steht. Wir haben also hier in der That ein ganz ähnliches Verhältniss, wie wir es beim Kreisel und der Fessel'schen Rotationsmaschine, Fig. 175, kennen lernten.

Zur Zeit des Wintersolstitiums, wenn die Erde auf der entgegengesetzten Seite der Sonne steht, ist der Südpol *p'* der Sonne zugekehrt; es wird alsdann *m'* stärker von der Sonne angezogen als *m*, so dass also auch zu dieser Zeit die Sonne ein Streben äussert, die Erde in der Richtung des Pfeiles zu drehen, also die Erdaxe aufzurichten. Zur Zeit der Aequinoctien, wo die Erdaxe rechtwinkelig auf *SC* steht, ist die Kraft, welche die Erdaxe zu drehen strebt, gleich Null, wir sehen also, dass die Kraft, welche die Schiefe der Ekliptik zu verkleinern strebt, zur Zeit der Solstitien ein Maximum wird und von da bis zu den Aequinoctien abnimmt. Eine ähnliche, aber noch bedeutendere Wirkung als die Sonne hat der Mond auf den Rückgang der Aequinoctialpunkte.

Zur Erläuterung des Rückganges der Aequinoctialpunkte hat Bohnenberger einen Apparat construirt, welcher nach ihm den Namen des „Bohnenberger'schen Maschinchens" führt. Eine Kugel oder ein Sphäroid von Elfenbein oder noch besser von Metall ist um eine Axe *ab* drehbar, die in Spitzen läuft, welche in einem messingenen Ringe befestigt sind, Fig. 177 (a. S. 315). Dieser innerste Ring ist wieder um eine horizontale Axe *cd* (der Endpunkt *d* ist in unserer Figur verdeckt) innerhalb eines zweiten Ringes drehbar, welcher selbst wieder um eine verticale Axe *fg* innerhalb des äussersten auf einem Postamentchen befestigten Ringes gedreht werden kann. Auf diese Weise ist die Kugel sowohl wie ihre Umdrehungsaxe vollkommen frei beweglich.

Ist das Gleichgewicht der Kugel und des innersten Ringes so hergestellt, dass ihr Schwerpunkt auf die Axe *cd* fällt, dass also keine Kraft vorhanden ist, welche eine Drehung um die Axe *cd* zu bewirken strebt, so wird die Axe *ab* ihre Stellung im Raume unverändert beibehalten, wenn man die Kugel in rasche Rotation um diese Axe versetzt hat, wie man auch den ganzen Apparat, am Fussgestell haltend, herumtragen und drehen mag. Sobald aber ein kleines Uebergewicht bei *b* angebracht wird, ist jetzt eine Kraft vorhanden, welche den innersten Ring sammt der Kugel um die Axe *cd* zu drehen strebt, und zwar so, dass die Axe *ab* aufgerichtet und *a* dem Punkte *f*, *b* dem Punkte *g* genähert werden würde, wenn die Kugel nicht rotirte. Ist aber die Rotation der Kugel hinlänglich rasch, so bleibt trotz des Uebergewichtes bei *b* die Neigung der Axe *ab* gegen *fg* unverändert, während dagegen eine Drehung der Kugel sammt ihrer Rotationsaxe um die Axe *fg* stattfindet.

Es treten also hier ganz dieselben Verhältnisse ein, wie bei der Rotation der Erdaxe, nur mit dem Unterschiede, dass die Kraft, welche die Axe *ab* aufzurichten strebt, beim Bohnenberger'schen Apparate stets gleich stark wirkt.

Fig. 178 stellt eine veränderte Form des Bohnenberger'schen Apparates dar.

Achtes Capitel.

Ortsveränderungen der Fixsterne.

---

119 **Fortschreitende Bewegung einzelner Sterne am Fixsternhimmel.** Wir haben bisher den Fixsternhimmel als den unveränderlichen Hintergrund betrachtet, auf welchem wir die Bahnen der Sonne, des Mondes, der Planeten und Kometen projicirt erblicken. Zwar haben wir bereits gesehen, dass die Länge sämmtlicher Gestirne in Folge des Rückganges der Aequinoctialpunkte fortwährend zunimmt, dass auch die Breite derselben in Folge der Nutation veränderlich ist; dass also weder die Erdaxe noch die Ebene der Erdbahn eine unveränderliche Lage im Weltraume haben. Bei alledem könnten aber doch wenigstens die Fixsterne unter sich eine absolut unveränderliche Stellung gegen einander haben; allein auch das ist nicht der Fall, obgleich die hierher gehörigen Verschiebungen so gering sind, dass sie erst nach Verlauf von Jahrhunderten eine namhafte Grösse erreichen, und in kürzeren Zeiträumen nur durch Beobachtungen von der äussersten Genauigkeit nachgewiesen werden können.

Halley suchte zuerst eine solche Ortsveränderung am Sirius, Arcturus und Aldebaran darzuthun, und in der That steht gegenwärtig Arcturus um $2^1/_2$ Vollmondbreiten von der Stelle entfernt, welche er zu Hipparch's Zeiten einnahm.

Seitdem man überhaupt die Sternörter genauer zu bestimmen im Stande ist, hat man eine solche langsam fortschreitende Ortsveränderung auch noch für andere Sterne nachgewiesen; zunächst geschah dieses von W. Herschel, welcher seine eigenen Beobachtungen mit denen Flamsteed's verglich, und namentlich durch Bessel's und Argelander's Vergleichung von Bradley's Sternpositionen für 1755 mit neueren Sternkatalogen.

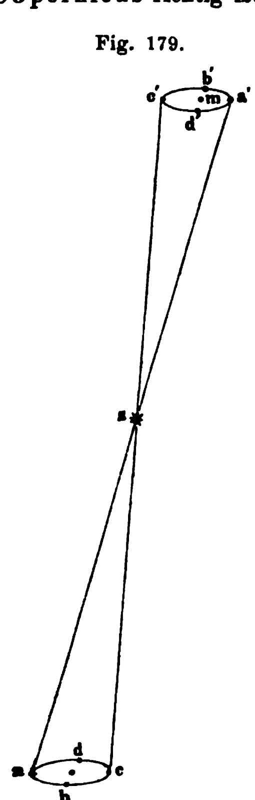
Diejenigen Sterne, an welchen man bis jetzt die grösste eigene Bewegung beobachtet hat, sind:

	Grösse	
Groombridge 1830 . . .	7	7,05″ jährlich
Lacaille 9352	7,8	6,96 "
61 Cygni	5,6	5,22 "
Lalande 21185.	7	4,75 "
ε Indi.	5,6	4,60 "
Lalande 21258	9	4,40 "
40 (O^2) Eridani	5	4,09 "
μ Cassiopejae	6	3,83 "
α Centauri	1	3,67 "

Nach 3000 Jahren werden ungefähr 56 Sterne sich um mehr als 1° von ihrer gegenwärtigen Stelle entfernt haben.

Jährliche Parallaxe der Fixsterne. Wenn die Lehre des 120 Copernicus richtig ist, dass die Erde gleich den anderen Planeten die Sonne umkreise und dass die scheinbare Bewegung der Sonne am Himmelsgewölbe nur eine Folge der wahren Bewegung der Erde sei, so müssen auch die Fixsterne eine von der Ortsveränderung der Erde herrührende scheinbare Bewegung zeigen und dadurch ihre gegenseitigen Stellungen ändern. Diese scheinbaren Bewegungen der Fixsterne aber, welche ihrer Entstehung nach an eine jährliche Periode gebunden sein müssen, werden um so kleiner sein, je weiter die Fixsterne von uns entfernt sind.

Fig. 179.



Untersuchen wir nun zunächst, von welcher Art die scheinbare Bewegung der Fixsterne sein muss, welche durch die jährliche Bewegung der Erde erzeugt wird.

In Fig. 179 sei s ein Fixstern, $abcd$ die Erdbahn. Wenn sich die Erde gerade in a befindet, so sehen wir den Stern in a' an das Himmelsgewölbe projicirt; wenn die Erde nach b, c, d gelangt ist, so sind b', c', d' die Orte des Himmelsgewölbes, auf welche uns der Stern s projicirt erscheint.

Im Laufe eines Jahres beschreibt also der Fixstern in Folge der jährlichen Wanderung der Erde um die Sonne am Himmelsgewölbe scheinbar eine Ellipse $a'b'c'd'$, welche der Erdbahn, wie sie vom Stern s aus gesehen erscheint, vollkommen gleich ist.

Der Fixstern erreicht den nördlichsten Punkt seiner scheinbaren Bahn zur Zeit des Sommersolstitiums, den südlichsten zur Zeit des Winter-

solstitiums. Zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums zeigt der Stern seine grösste östliche, zur Zeit des Herbstäquinoctiums seine grösste westliche Abweichung von dem mittleren Orte *m*, an welchem wir den Stern sehen würden, wenn wir uns auf der Sonne befänden.

Von einem Fixstern aus gesehen, erscheint die Erdbahn, die wir hier wegen ihrer geringen Excentricität als kreisförmig ansehen wollen, stets als eine Ellipse, welche um so mehr von der Kreisgestalt abweicht, je kleiner der Winkel ist, welchen eine von dem Fixstern zur Sonne gezogene Linie mit der Ebene der Erdbahn macht. Ist dieser Winkel ein rechter, steht also der fragliche Stern im Pol der Ekliptik, so wird die scheinbare Bahn, welche er im Laufe eines Jahres beschreibt, ein Kreis sein. Für jeden anderen Stern ist die scheinbare jährliche Bahn eine Ellipse, deren grosse Axe parallel mit der Ekliptik ist, und diese grosse Axe bleibt bei gleicher Entfernung des Fixsterns unverändert, wie weit er sich auch der Ebene der Ekliptik nähern mag, während die kleine Axe der Ellipse von dem Winkel abhängt, welchen die von dem Stern zur Sonne gezogene Linie mit der Ekliptik macht. Diese kleine Axe wird Null für alle Fixsterne, welche in der Ebene der Ekliptik selbst liegen.

Die halbe grosse Axe der eben besprochenen Ellipse nennt man die jährliche Parallaxe des Fixsterns. Es ist klar, dass die jährliche Parallaxe von der Entfernung der Gestirne abhängt, dass sie grösser sein muss für die näheren, kleiner für die entfernteren Fixsterne. Betrüge die jährliche Parallaxe eines Fixsternes

1^0, so wäre seine Entfernung	=	57	Halbmessern der Erdbahn,
$1'$ „ „ „ „	=	3 438	„ „ „
$1''$ „ „ „ „	=	206 265	„ „ „

Als Copernicus mit seinem neuen Weltsystem auftrat, hatte man noch keine Spur einer jährlichen Parallaxe an Fixsternen wahrgenommen; ihre gegenseitige Stellung galt für absolut unveränderlich, und die Anhänger des alten Systems verfehlten nicht, diesen Umstand gegen Copernicus geltend zu machen, welcher diesen Einwürfen weiter nichts entgegensetzen konnte, als dass die Entfernung der Fixsterne so gross sei, dass die jährliche Parallaxe einen für den damals erreichbaren Grad der Genauigkeit astronomischer Messungen verschwindend kleinen Werth habe.

Von nun an war das eifrige Bestreben der Astronomen darauf gerichtet, die Genauigkeit der Beobachtung möglichst zu steigern, um die jährliche Parallaxe einzelner Fixsterne zu ermitteln und dadurch nicht allein die Richtigkeit des Copernicanischen Systems zu beweisen, sondern auch die Entfernung dieser Fixsterne zu bestimmen.

121 **Grösse der jährlichen Parallaxe und Entfernung der Fixsterne.** Tycho Brahe vervollkommnete die astronomischen Beobachtungsmethoden so weit, dass die von ihm gemachten Ortsbestimmungen der Fixsterne bis auf 1′ genau sind, und doch war aus Tycho's Beobachtungen noch keine Parallaxe der Fixsterne nachzuweisen.

Der nächste Schritt in der Entwickelung astronomischer Messungen wurde nun durch die Combination von Kreistheilungen mit einem Fernrohre gemacht, welches mit einem Fadenkreuz versehen ist. Dadurch erreichten die Beobachtungen von Flamsteed und Römer eine Genauigkeit, bei welcher die Fehlergrenze auf $^1/_6$ derjenigen reducirt wurde, welche bei den Tychonischen Beobachtungen noch vorkommen konnte.

In der That beobachtete nun Flamsteed Ortsveränderungen der Fixsterne, welche aber dem Gesetz der parallaktischen Bewegung nicht entsprachen, also von einer anderen Ursache als der jährlichen Parallaxe herrühren mussten.

Zunächst nahm dann Hooke (1669) diesen Gegenstand wieder auf. Um die geringsten Ortsveränderungen eines Fixsternes beobachten und messen zu können, stellte er ein mit einer Kreistheilung versehenes Fernrohr so auf, dass es nahezu nach dem Zenith gerichtet war und nur eine unbedeutende Drehung in der Meridianebene zuliess. Mit einer solchen Vorrichtung, deren Aufstellung unverändert blieb und welche zu keinem anderen Zwecke benutzt wurde, konnte man natürlich die Zenithdistanzen von Fixsternen, welche bei ihrer Culmination nahe durch das Zenith gehen, sehr genau beobachten und die geringsten Veränderungen in der Zenithdistanz eines und desselben Sternes wahrnehmen. So zweckmässig aber auch Hooke's Beobachtungsmethode war, so gelangte er damit doch zu keinem Resultate.

Im Jahre 1725 nahm Molyneux in Gemeinschaft mit Bradley die Hooke'sche Beobachtungsmethode mit ganz vortrefflichen Instrumenten wieder auf, mit welchen die Zenithdistanz eines Sternes bis auf 1″ genau bestimmt werden konnte. Zunächst wurde der Stern γ im Kopfe des Drachen zum Gegenstande einer genauen Untersuchung gewählt.

Die Beobachtung wurde zur Zeit des Wintersolstitiums begonnen, wo der Stern der Theorie zufolge den südlichsten Punkt seiner jährlichen Bahn erreicht haben musste; statt aber nun still zu stehen und dann langsam nach Norden fortzuschreiten, ergab sich, dass der Stern noch weiter nach Süden fortschritt, und erst ein Vierteljahr später die südlichste Grenze seiner Bahn erreichte. Jetzt stand γ Draconis 20″ südlicher als im Anfange der Beobachtungen; nach einem halben Jahre war die Zenithdistanz wieder dieselbe wie im December, und im September befand sich der Stern 39″ nördlicher, als man ihn im März gefunden hatte.

Somit war eine bedeutende, an eine jährliche Periode gebundene Ortsveränderung des Sternes unwiderleglich nachgewiesen; allein es war nicht die gesuchte Parallaxe, sondern eine Folge der Aberration des Lichtes, welche im nächsten Buche besprochen werden soll. Durch die Aberration des Lichtes war nun, wie wir alsbald sehen werden, die Bewegung der Erde um die Sonne ebenso dargethan, wie es durch die Nachweisung der Parallaxe hätte geschehen können; allein ohne die Grösse der jährlichen Parallaxe selbst gemessen zu haben, blieb es doch unmöglich, die Entfernung der Fixsterne zu bestimmen.

Die Entdeckung der Aberration des Lichtes musste der Nachweisung einer jährlichen Parallaxe nothwendig vorausgehen; denn aus den Beobachtungen lässt sich die Parallaxe erst dann nachweisen, wenn man die Wirkungen der Aberration in Abzug bringt.

Von der Ansicht ausgehend, dass die hellsten Fixsterne uns wohl auch die nächsten sein möchten, suchte Piazzi (1805) die Parallaxe der Wega, des Aldebaran, des Sirius und des Procyon zu ermitteln, und glaubte auch eine solche aufgefunden zu haben; doch fehlt seinen Resultaten die nöthige Sicherheit, weil die Parallaxe dieser Sterne zu klein ist, als dass sie bei der von Piazzi angewandten Beobachtungsmethode hätte abgeleitet werden können.

Im Jahre 1838 gelang es endlich Bessel, die Parallaxe des Doppelsternes 61 Cygni, an welchem er bereits 1812 eine bedeutende eigene Bewegung nachgewiesen hatte, und von welchem sich eben deshalb vermuthen liess, dass er zu den uns näher liegenden Fixsternen gehöre, ausser Zweifel zu setzen. Bei einem wahrscheinlichen Fehler von 0,02″ ist, nach Bessel's Messungen, die jährliche Parallaxe von 61 Cygni gleich 0,36 Secunden.

Die Methode, durch welche Bessel zu diesem Resultate gelangte, ist von derjenigen abweichend, welche oben angedeutet wurde.

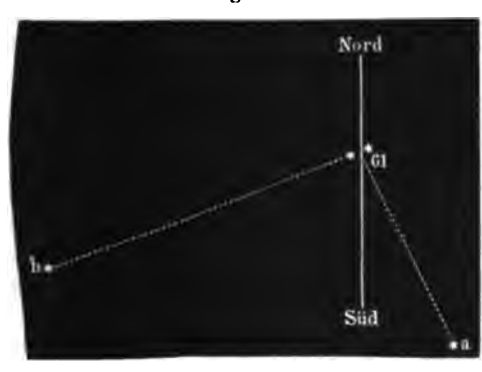
Sie bestand darin, zu verschiedenen Zeiten des Jahres den Abstand des zu prüfenden Sternes von benachbarten Sternen mit Hülfe des auf Seite 107 beschriebenen Heliometers zu messen, welche mit ihm gleichzeitig im Gesichtsfelde des Fernrohres erscheinen. Hierbei wird eine grosse Anzahl von Fehlerquellen, welche bei sogenannten absoluten Ortsbestimmungen das Resultat beeinträchtigen können, eliminirt, weil sie für beide Sterne so gut wie gleich sind. Man erhält auf diese Weise eigentlich nur die Differenz der jährlichen Parallaxe der beiden Sterne, deren Positionen man mit einander vergleicht, und nur, wenn man die Parallaxe des einen als verschwindend klein annehmen kann, die jährliche Parallaxe des anderen.

Fig. 180 stellt die gegenseitige Stellung des Doppelsternes 61 Cygni und zweier Sterne neunter bis zehnter Grösse dar, mit deren Lage Bessel die des Doppelsternes verglich. *a* ist im Mittel nur 7′ 22″, *b* nur 11′ 46″ von dem Punkte entfernt, welcher in der Mitte der beiden Sterne 61 Cygni liegt. Der Abstand dieser beiden Sterne ist in unserer Figur, der Deutlichkeit halber, doppelt so gross dargestellt, als es im Verhältniss der Entfernung der beiden Sterne *a* und *b* eigentlich sein sollte.

Bessel hat seine Beobachtungen am 16. August 1837 angefangen und bis zum 2. October 1838 fortgesetzt. In dieser Zeit sind 85 Vergleichungen des Sternes 61, d. h. des Punktes, welcher in der Mitte zwischen beiden Sternchen liegt, mit dem Sterne *a* und 98 mit dem Sterne *b* gelungen. Jede derselben ist das mittlere Resultat mehrerer, gewöhnlich 16 in derselben Nacht gemachter Wiederholungen der Messung.

Aus diesen Messungen hat sich nun in der That herausgestellt, dass, auf den Stern *a* bezogen, 61 Cygni im Laufe eines Jahres eine Ellipse beschreibt, deren halbe grosse Axe 0,36″ ist, und dass, ganz wie es die Parallaxe fordert, die Entfernung zwischen *a* und 61 Cygni zu Anfange des Jahres am kleinsten, in der Mitte am grössten ist. Betrachtet man nun die Parallaxe von *a* als 0, so ist demnach die jährliche Parallaxe von 61 Cygni gleich 0,36″, wie bereits oben angeführt wurde. Nach späteren Bestimmungen dürfte sie etwas grösser, und zwar im Mittel etwa = 0,40″ sein.

Fig. 180.



Durch die Vergleichung unseres Doppelsternes mit *b* ergab sich die Differenz der Parallaxe beider Sterne gleich 0,26″, woraus denn hervorgeht, dass höchst wahrscheinlich *b* selbst eine merkliche Parallaxe hat.

Bis jetzt hat man bereits für ungefähr 50 Sterne die jährlichen Parallaxen bestimmt; sie ist am grössten für diejenigen fünf Sterne, welche sich in der folgenden kleinen Tabelle verzeichnet finden.

	Parallaxe	Entfernung
α Centauri	0,75″	256 000 Erdweiten
Lal. 21 185 . . .	0,50	416 000 „
61 Cygni	0,40	512 000 „
η Herculis	0,40	512 000 „
Sirius	0,39	500 000 „

Der schöne Doppelstern α Centauri, nach dem Sirius der hellste Stern des Firmamentes, aber bei uns nicht sichtbar, ist demnach unter allen Fixsternen, deren Entfernung bisher bestimmt ist, unserem Sonnensystem am nächsten. Seine Parallaxe ist durch die von Henderson im Jahre 1832, von Maclear im Jahre 1839 und neuerdings von Gill und Elkin am Cap der guten Hoffnung angestellten Beobachtungen bestimmt worden.

Doppelsterne. Als man dahin gekommen war, das Auge für 122
den Anblick des Himmels durch Fernrohre zu schärfen, bemerkte man

bald, dass an mehreren Stellen, wo das freie Auge nur einen einfachen Stern wahrgenommen hatte, zwei oder manchmal noch mehr Sterne neben einander standen. Man nannte solche durch Fernrohre trennbare Punkte Doppelsterne.

Bis zum Jahre 1783 hatte W. Herschel bereits 450 Doppelsterne beobachtet, deren Distanz kleiner war als 32″.

Anfangs war Herschel der Ansicht, dass das nahe Zusammenstehen solcher Sterne nur zufällig sei; als aber die Anzahl der beobachteten Doppelsterne immer mehr zunahm, wurde es höchst unwahrscheinlich, dass diese Doppelsterne, von unserem Standpunkte aus gesehen, nur eben zufällig nahe bei einander zu stehen schienen, und er gelangte nun zu der Ueberzeugung, dass die Mehrzahl der Doppelsterne in der That nicht bloss optisch einander nahe, sondern dass sie auch physisch in näherer Beziehung zu einander stehen. Die fortgesetzte genaue Beobachtung der Doppelsterne hat nun diese Ansicht über allen Zweifel erhoben. Gegenwärtig kennt man bereits gegen 11000 Doppelsterne, auch giebt es eine grosse Anzahl dreifache und vielfache Sterne.

Gewöhnlich ist einer der beiden Sterne viel kleiner als der andere, z. B. beim Polarsterne, wo der eine ein Stern zweiter, der andere neunter Grösse ist. Bei anderen Doppelsternen dagegen sind beide einander an Grösse nahe gleich, wie z. B. bei γ Arietis, wo beide Sterne vierter Grösse sind. Castor besteht aus einem Stern zweiter und einem Stern dritter Grösse. Der Doppelstern γ Leonis wird durch einen Stern zweiter und einen Stern dritter Grösse gebildet; γ Virginis besteht aus zwei Sternen dritter Grösse u. s. w.

Die Doppelsterne sind ein gutes Prüfungsmittel für Fernrohre.

Den Stern Mizar, im Schweif des grossen Bären, kann ein scharfes Auge bei sehr reiner Luft schon ohne alle Bewaffnung als einen doppelten erkennen, d. h. dicht bei dem Hauptsterne erblickt man einen kleineren, welcher Alkor oder das Reiterchen genannt wird. Schon durch ein Theaterfernrohr erblickt man Mizar und Alkor ziemlich weit getrennt, während durch Fernrohre von 50- bis 70facher Vergrösserung beide Sterne schon so weit von einander getrennt erscheinen, dass man nicht mehr versucht ist, sie als zusammengehörig anzusehen. Durch ein solches Fernrohr erkennt man aber nun den Hauptstern Mizar selbst als einen wahren Doppelstern. Um den Doppelstern γ Andromedae oder α der Jagdhunde aufzulösen, ist schon ein gutes zweifüssiges Fernrohr von 50- bis 70facher Vergrösserung nöthig. Ein vierfüssiges Fernrohr von 100- bis 120facher Vergrösserung löst Castor und den Polarstern auf. Um aber die beiden Sterne von γ Virginis und β Orionis getrennt zu sehen, muss man schon sehr gute Instrumente in Anwendung bringen.

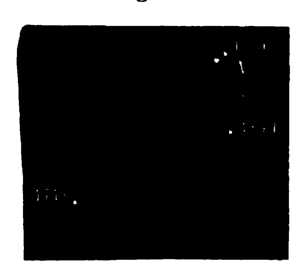
Wenn die Doppelsterne wirklich physische Doppelsterne sind, so werden sie auch eine gegenseitige Wirkung auf einander ausüben, sie werden ein System bilden und um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen; die Folge einer solchen Bewegung wird aber die sein,

dass nicht allein die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, ihre Lage am Himmel ändert, sondern dass auch die scheinbare Entfernung derselben variirt. Bei vielen Doppelsternen hat man nun eine solche Stellungsveränderung mit voller Gewissheit nachgewiesen.

Castor wurde seit 1729 als Doppelstern beobachtet und seit jener Zeit hat der Begleiter bereits 100° in seiner scheinbaren Bahn um den Hauptstern zurückgelegt.

Bradley erkannte bereits im Jahre 1718 γ Virginis als Doppelstern; damals betrug der Abstand der beiden Sterne 7″. Anfangs 1836 war ihre Entfernung so klein, dass sie wie ein einfacher Stern erschienen; seitdem ist aber ihr Abstand wieder gewachsen; dabei drehte sich die Richtungslinie, welche die beiden Sterne verbindet, von Südwest durch West, Nord u. s. w. seit der ersten Beobachtung um mehr als 300°. Nimmt man den einen als fest an, so ist die Bahn, welche der andere um ihn beschreibt, eine Ellipse, wie es Fig. 181 darstellt. Es sind in dieser Figur auch die Stellen bezeichnet, welche der bei der ersten Beobachtung südwestlich stehende Stern zu Anfang des Jahres 1836 und 1844 einnahm, wenn man den anderen zum Ausgangspunkte der Ortsbestimmung macht. Im Jahre 1838 war der Abstand der beiden Sterne bereits wieder 1″. Da jetzt die Entfernung der beiden Sterne noch weiter gewachsen ist, so ist dieser Doppelstern auch wieder leichter aufzulösen als zu Anfang der 40er Jahre. Die Umlaufszeit dieses Doppelsternes beträgt 185 Jahre; im Jahre 1903 wird also die gegenseitige Stellung dieselbe sein, wie zu Bradley's Zeit.

Fig. 181.



Folgende Tabelle enthält einige bereits bestimmte Umlaufszeiten von Doppelsternen:

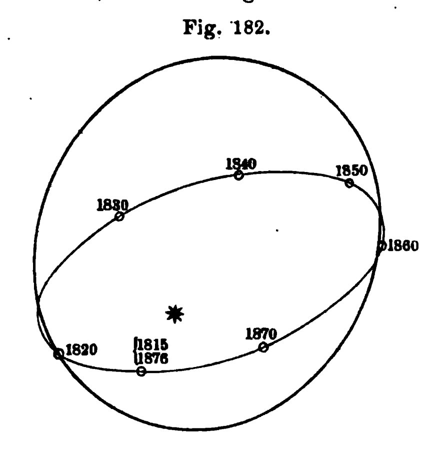
42 Com. Berenices	26	Jahre
ζ Herculis	34	"
η Coronae	42	"
Sirius	49	"
ξ Ursae majoris	61	"
α Centauri	88	"
γ Coronae	96	"
ξ Bootis	127	"
γ Virginis	185	"
δ Cygni	415	"
61 Cygni	783	"
Castor	1000	"

Die Bahnen der Doppelsterne würden uns dann in ihrer wahren Gestalt, also unverkürzt erscheinen, wenn die von ihnen zur Erde gezogene Linie rechtwinklig auf der Bahnebene stände; dies ist aber fast

nie der Fall, und deshalb sehen wir die Doppelsternbahnen fast immer verkürzt. So zeigt Fig. 182 die scheinbare, mehr excentrische und die aus derselben abgeleitete wahre, mehr kreisförmige Bahn des Doppelsternes ξ Ursae majoris, dessen Umlaufszeit 61 Jahre beträgt.

Die Zahl der Doppelsterne, deren Bahnelemente bis jetzt ermittelt worden sind, beträgt etwa 40. An vielen anderen hat man zwar gegenseitige Verrückungen wahrgenommen, doch reichen die Beobachtungen nicht hin, um mit einiger Sicherheit Umlaufszeit und Gestalt der Bahnen daraus abzuleiten. Bei anderen hat man endlich noch gar keine Stellungsänderung bemerkt, und manche von diesen sind wahrscheinlich nur optische, nicht physische Doppelsterne.

Fig. 182.



Eine genauere Untersuchung der Doppelsternbahnen zeigt, dass sie vollkommen den beiden ersten Kepler'schen Gesetzen entsprechen, dass also in den entferntesten Himmelsräumen, so weit unsere Blicke nur mit Hülfe der besten Fernrohre vorzudringen vermögen, die allgemeine Massenanziehung ganz in derselben Weise die Bewegungen der Himmelskörper beherrscht, wie dies in unserem Planetensystem der Fall ist.

Ohne Zweifel sind alle Fixsterne selbst leuchtende Weltkörper, wie unsere Sonne, und um sie kreisen wohl Planeten, welche von ihnen Licht und Wärme empfangen, wie wir von der Sonne. Auch die Doppelsterne bilden solche Systeme, welche sich aber von unserem Planetensysteme, in welchem sich nur ein Centralkörper von weitaus überwiegender Masse befindet, dadurch unterscheiden, dass sie zwei Sonnen enthalten, welche selbst um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen.

123 **Fortschreiten unseres ganzen Planetensystems im Weltraume.** Die eigenen Bewegungen der Fixsterne, welche im ersten Paragraphen dieses Capitels besprochen wurden, finden nach den verschiedensten Richtungen statt, aber doch zeigt sich, dass die Bewegung nach einer bestimmten Richtung hin entschieden vorherrschend ist, so dass sich die meisten Fixsterne, an denen man eine solche fortschreitende Bewegung wahrgenommen hat, scheinbar einem bestimmten Punkte des Himmels nähern; am wahrscheinlichsten ist es nun, dass diese den verschiedenen Fixsternen gemeinsame Bewegung von einer in entgegengesetzter Richtung stattfindenden Bewegung unserer Sonne herrührt. Nach W. Herschel's Bestimmungen liegt der Punkt, gegen welchen

sich unsere Sonne sammt allen sie umkreisenden Planeten und Kometen hinbewegt, nahe beim Sternbilde des Hercules (260° 44′ Rectascension, 26° 16′ nördliche Declination), womit die Bestimmungen von Argelander, Gauss, Struve und Anderen nahezu übereinstimmen. Galloway versuchte es, den Punkt des Himmels, gegen welchen sich unser Sonnensystem hinbewegt, nur aus der eigenen Bewegung von Fixsternen der südlichen Hemisphäre abzuleiten, und gelangte ebenfalls zu einem Resultate, welches sehr nahe mit dem aus nördlichen Sternen berechneten übereinstimmt (260° Rectascension, 34° 23′ nördliche Declination).

Es ist nun nicht wahrscheinlich, dass die Sonne zu allen Zeiten in gerader Linie sich im Raume fortbewegt, wie es nach dem Gesetze der Trägheit der Fall sein müsste, wenn keine anziehenden Kräfte auf die Sonne wirkten. Wenngleich die Fixsterne sich in überaus grosser Entfernung von uns befinden, so wird ihre Anziehung auf das Sonnensystem doch nicht völlig gleich Null sein, und die Folge davon wird sein, dass die Bahn der Sonne eine krumme Linie ist, die sich allerdings, wenigstens so lange die Sonne sich nicht irgend welchen Fixsternen bedeutend mehr nähert, von der geraden Linie äusserst wenig unterscheidet. Die Gestalt dieser Linie kennen wir aber nicht, da uns die anziehenden Kräfte der Fixsterne ihrer Grösse nach nicht bekannt sind. Die Annahme, welche früher gemacht, und namentlich von Mädler verfochten wurde, dass die Sonnenbahn nahezu kreisförmig sei, ist eine völlig willkürliche und haltlose, und es ist seit langer Zeit nachgewiesen, dass die Mädler'sche Hypothese auf durchaus unstatthaften Voraussetzungen und Schlüssen beruhte. Vorläufig können wir nur sagen, dass keine Thatsachen bekannt sind, aus denen man für die jetzige Zeit auf eine Abweichung der Sonnenbahn von einer geraden Linie schliessen könnte.

ZWEITES BUCH.

KOSMISCHE UND ATMOSPHÄRISCHE LICHTERSCHEINUNGEN.

Erstes Capitel.

Das Licht der Himmelskörper und seine Verbreitung im Weltraume.

Sonnenflecken. Wenn man die Sonne durch ein Fernrohr betrachtet, wobei man aber ihres starken Glanzes wegen ein sehr dunkelfarbiges Glas (Blendglas, Sonnenglas) vor das Ocular bringen muss, so bemerkt man auf ihrer Oberfläche bald mehr, bald weniger dunkle Flecken, ungefähr in der Art, wie es Fig. 183 und Tab. XXVI des Atlas zeigt. 124

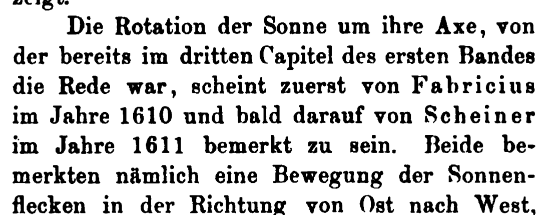


Fig. 183.

Die Rotation der Sonne um ihre Axe, von der bereits im dritten Capitel des ersten Bandes die Rede war, scheint zuerst von Fabricius im Jahre 1610 und bald darauf von Scheiner im Jahre 1611 bemerkt zu sein. Beide bemerkten nämlich eine Bewegung der Sonnenflecken in der Richtung von Ost nach West, woraus folgt, dass die Drehung der Sonne in derselben Richtung wie die der Erde stattfindet. Scheiner suchte aus der Bewegung der Sonnenflecken die Rotationszeit der Sonne abzuleiten, er fand indessen, dass sich dieselbe verschieden ergab, je nach der heliocentrischen Breite der Flecken, welche er zu der Bestimmung benutzte. Neuere Beobachtungen haben diese Erscheinung bestätigt, durch die es schwierig wird, die wahre Rotationszeit der Sonne zu ermitteln. Nämlich die Sonnenflecken, welche sich in der Nähe des Sonnenäquators befinden, ergeben eine Rotationszeit von 25,1 Tagen, dagegen solche in 30° Breite eine von 26,5 Tagen. Die Ermittelung wird noch dadurch sehr erschwert, dass manche Flecken eine sehr merkliche Eigenbewegung haben. Aus diesem Allen geht hervor, dass auf der Sonnenoberfläche starke Strömungen stattfinden, und wir können eigentlich nur sagen, dass die Sonne sich in einer Zeit um ihre Axe bewegt, welche zwischen 25 und 27 Tagen beträgt.

Die Zahl der Sonnenflecken wechselt sehr bedeutend. In manchen Jahren giebt es sehr viele, in anderen äusserst wenige, und genaue Untersuchungen, welche namentlich von R. Wolf in Zürich mit grosser Ausdauer ausgeführt sind, haben gezeigt, dass eine deutliche Periodicität von ungefähr 11 Jahren stattfindet, deren Ursache allerdings noch nicht bekannt ist.

Man hat vermuthet, dass die grössere oder geringere Häufigkeit der Sonnenflecken einen Einfluss auf unsere Witterungsverhältnisse ausüben müsse, dass fleckenreichere Jahre kühler sein müssten; die Erfahrung scheint eine solche Annahme nicht zu bestätigen, dagegen findet ein auffallender Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den magnetischen Variationen statt, indem sich die magnetischen Variationen am stärksten zeigen, wenn zahlreiche Sonnenflecken vorhanden sind, während das Minimum der Sonnenflecken auch mit dem Minimum der magnetischen Variationen zusammenfällt.

Die Sonnenflecken wurden zum ersten Male von Johann Fabricius im Jahre 1610 beobachtet; Galilei entdeckte sie im Jahre 1612. Scheiner wandte zu ihrer Beobachtung zuerst die bereits von Apian empfohlenen Blendgläser an, deren Nichtgebrauch wohl vorzugsweise Galilei's Erblindung veranlasste.

125 **Die physische Beschaffenheit der Sonnenflecken.** Bei genauerer Betrachtung der Sonnenflecken erkennt man, dass der dunkle Kern derselben gleichsam mit einem Halbschatten umgeben ist, welcher den Namen der Penumbra führt.

Die Contouren des Kerns sowohl wie der Penumbra sind unregelmässig gestaltet und meist liegen mehrere Kerne in einer gemeinschaftlichen Penumbra, wie Fig. 184 zeigt, welche eine getreue Darstellung wirklich beoabachteter Sonnenflecken ist. Die Kerne sind übrigens keineswegs ganz dunkel, sie erscheinen nur so in Folge des Contrastes. Langley hat durch photometrische Untersuchungen gefunden, dass ein Kernfleck doch immer noch 500 mal so viel Licht ausstrahlt, als eine gleich grosse Fläche des Vollmondes.

Die Penumbra der Sonnenflecken kann man bereits mit einem kleineren Fernrohre erkennen; ferner sieht man mit einem solchen die sogenannten Sonnenfackeln, d. h. besonders hell leuchtende Flecken und Adern, welche sich vielfach in der Nähe der Sonnenflecken und besonders am Rande der Sonne befinden. Im Uebrigen erscheint die Oberfläche der Sonne von gleichförmigem Aussehen.

Richten wir aber ein kräftiges Fernrohr auf die Sonne, so finden wir, dass dieses gleichförmige Aussehen in Wirklichkeit nicht vorhanden, sondern dass die ganze Oberfläche in eigenthümlicher Weise granulirt ist. Man hat diese Granulation mit Reiskörnern verglichen, welche in einer Flüssigkeit schwimmen. Die einzelnen Knötchen oder Körner zeigen sich bei genauer Betrachtung noch wieder zusammengesetzt aus

vielen kleinen Lichtpunkten, deren Durchmesser etwa $^1/_3''$ beträgt, was einer räumlichen Ausdehnung im Betrage von 200 km nahezu gleichkommt. In manchen Gegenden der Sonnenoberfläche tritt diese Granulation mit grosser Schärfe, in anderen mehr verwaschen auf, auch kommen vielfache und rasche Aenderungen in der Form und Grösse vor.

In dem Hofe der Flecken macht diese Granulation den Eindruck, als wären (nach Nasmyth's Vergleich) leuchtende Weidenblätter ausgestreut, wie man dies in Fig. 185 und Fig. 186 (a. f. S.) erkennt, welche nach Secchi's Zeichnungen Sonnenflecken darstellen, welche er

Fig. 184.



sorgfältig beobachtet hat. Bisweilen ist das Innere der Flecken mit einem rosenrothen Schleier durchzogen, wie Fig. 187 und Fig. 188 (a. S. 335) zeigen. Bisweilen zeigen die grösseren Flecken in ihrem Inneren eine drehende oder wirbelnde Bewegung, wie dies z. B. bei einem am 5. Mai 1854 von Secchi beobachteten Fleck, Fig. 189 (a. S. 336), der Fall war, dessen spiralförmige Windungen nach zwei Stunden vollständig verschwanden.

Wilson hat zuerst die Beobachtung gemacht, dass die Penumbra der Sonnenflecken beim Fortrücken gegen den westlichen Sonnenrand auf der Ostseite des Fleckens rascher verschwindet, dass hier der Kern schärfer begrenzt erscheint, als auf der Westseite, wie dies durch Fig. 190 (a. S. 336) erläutert wird, welche die scheinbaren Veränderungen darstellt,

Fig. 185.

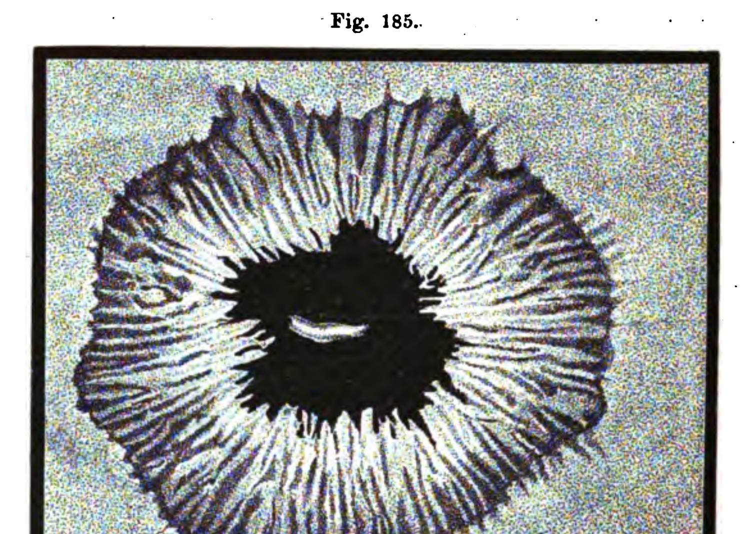
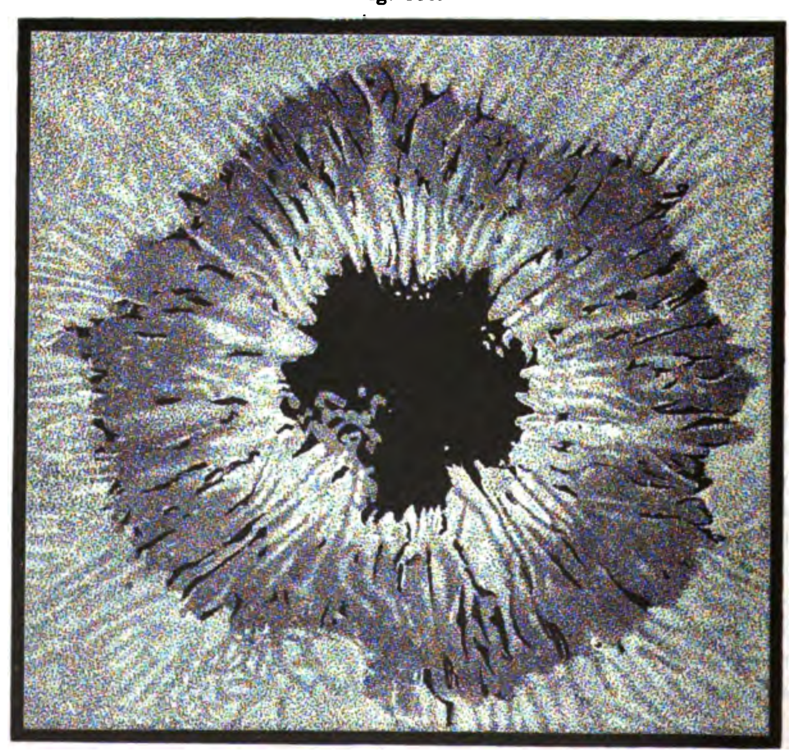


Fig. 186.

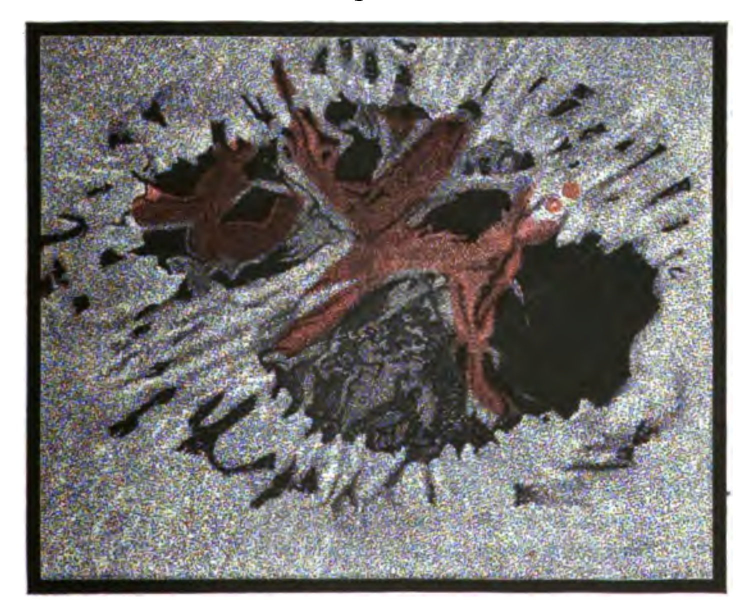


welche ein Sonnenfleck durch sein Vorrücken gegen den Westrand der Sonne erleidet, bei 3 und 4 ist bereits der Ostrand der Penumbra, bei 5 ist der Kern des Fleckes selbst verschwunden. Auf diese Erscheinung

Fig. 187.



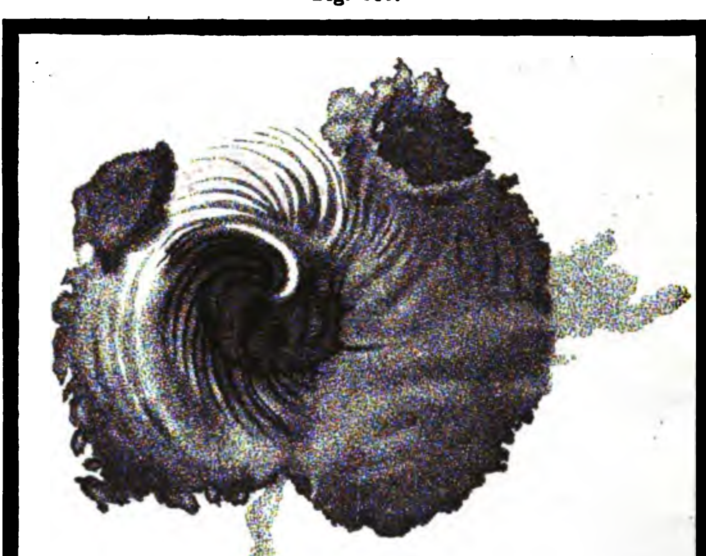
Fig. 188.



gründete Herschel die folgende, auch von Arago vertretene Hypothese über die Constitution der Sonne.

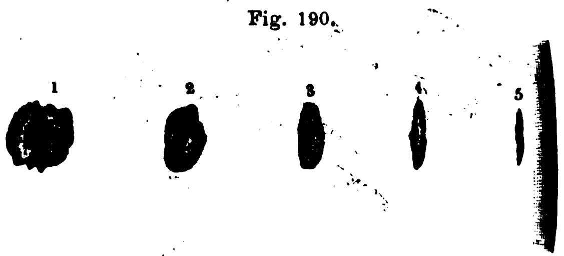
Der eigentliche Kern der Sonne sei eine dunkle Kugel, welche ringsum von einer Gasatmosphäre umgeben ist. In dieser Atmosphäre

Fig. 189.



schweben nun zwei wolkenartige Schichten, von denen die äussere, stark leuchtende die Photosphäre genannt wird. Die innere Wolkenschicht dagegen ist entweder nur schwach leuchtend oder vielleicht auch nur durch die äussere erleuchtet.

Fig. 190.



Es erscheinen nun Sonnenflecken, so oft die Photosphäre und die untere Wolkenschicht durch irgend eine unbekannte Ursache durchbrochen werden und man durch eine grössere Oeffnung in der Photosphäre und eine kleinere der unteren Wolkenschicht auf den dunklen Kern der Sonne hinabsehen kann.

Diese Vorstellung von der Beschaffenheit der Sonne steht aber im Widerspruch mit anerkannten Gesetzen der Physik und Geologie.

Wenn irgend ein glühendflüssiger Körper durch Ausstrahlen erkaltet, so kann die Erkaltung nur von aussen nach innen fortschreiten; die äussere Hülle wird zuerst erkalten und erstarren, während der von ihr eingeschlossene Kern sich noch lange in feurigflüssigem Zustande befinden kann.

Es ist demnach nicht wohl möglich, dass der innere Kern der Sonne schon zu einer dunklen Masse erkaltet sein soll, während er von einer glühenden Atmosphäre umgeben ist. Ja, nehmen wir sogar an, dass ein solcher Zustand wirklich stattfände, so könnte er kein dauernder sein, weil der dunkle, kalte Kern, fortwährend Wärmestrahlen von der Photosphäre erhaltend, ohne sie nach irgend einer Seite hin frei ausstrahlen zu können, sich rasch erwärmen würde, während die Photosphäre, nach beiden Seiten Wärme ausstrahlend, bald erkalten müsste. Kurz, ein solcher Zustand könnte nur ein vorübergehender sein, während doch die Sonne schon Jahrtausende hindurch als glühender Körper ihre Strahlen in den Himmelsraum aussendet. Eine solche Beständigkeit ist nur durch die Annahme einer weissglühenden Masse von den enormen Dimensionen des gesammten Sonnenkörpers erklärlich. Eine glühende Photosphäre würde bei ihrer geringen Masse bald ihre gesammte Wärme an den ungeheuren kalten Kern abgeben müssen.

Die ohnehin schon höchst unwahrscheinliche Herschel-Arago'sche Hypothese eines dunklen Sonnenkörpers mit glühender Photosphäre ist aber durch die Spectraluntersuchungen Kirchhoff's vollkommen unhaltbar geworden.

Ein weissglühender fester oder flüssiger Körper liefert ein vollkommen continuirliches Spectrum, während ein im Gaszustande glühender Stoff, abgesehen von einer weiter unten (§. 127) zu erwähnenden Ausnahme, ein aus isolirten hellen Linien bestehendes Spectrum liefert. So besteht z. B. das Spectrum des glühenden Natriumdampfes aus zwei einzelnen gelben, das Spectrum des glühenden Strontiumdampfes aus mehreren rothen, einer orangefarbenen und einer blauen Linie u. s. w. Das in Dampfform glühende Eisen liefert ein aus über 100 hellen Linien fast aller Farben bestehendes Spectrum.

Nun hat Kirchhoff die wichtige Entdeckung gemacht, dass die prismatische Zerlegung des Lichtes, welches, von einem stark weissglühenden Körper ausgehend, durch einen im Gaszustande glühenden Stoff hindurchgegangen ist, ein Spectrum liefert, welches gerade an der Stelle durch dunkle Linien unterbrochen ist, an welcher das glühende Gas für sich selbst helle Linien liefert. So liefert z. B. das Drummond'sche Kalklicht ein continuirliches Spectrum; wenn man es aber durch eine mittelst Kochsalz intensiv gefärbte (für sich selbst farblose und schwach leuchtende) Gasflamme gehen lässt, so zeigt sich eine dunkle Linie gerade da, wo die Natriumflamme für sich allein, d. h. ohne den weissglühenden Hintergrund, eine helle, gelbe Linie erzeugt hätte.

Kurz, alle hellen Spectrallinien, welche durch gasförmig glühende Stoffe erzeugt werden, werden in dunkle Linien verwandelt, wenn sich

hinter dem gasförmig glühenden Stoffe ein weissglühender Körper befindet, dessen continuirliches Spectrum dann durch jene dunklen Linien unterbrochen erscheint.

Nun aber liefert uns die prismatische Zerlegung des Sonnenlichtes keineswegs ein continuirliches Spectrum, sondern es erscheint uns von zahlreichen dunklen Linien durchschnitten, welche unter dem Namen der Fraunhofer'schen Linien bekannt sind. Sehr viele dieser Fraunhofer'schen Linien fallen nun aber genau mit den hellen Linien zusammen, aus denen das Spectrum verschieden gefärbter Flammen besteht.

So fällt z. B. die Fraunhofer'sche Linie *D* genau mit der hellen, gelben Linie zusammen, welche das Spectrum einer durch Kochsalz gefärbten Flamme bildet. Sämmtliche helle Linien des Eisenspectrums fallen genau mit der gleichen Anzahl dunkler Linien des Sonnenspectrums zusammen u. s. w.

Nach diesen Thatsachen liegt es nahe, die Fraunhofer'schen Linien aus einer Umkehrung der Flammenspectren zu erklären, wie dies Kirchhoff in der That gethan hat. Die Fraunhofer'schen Linien zu erklären, kann man annehmen, dass der Kern der Sonne, in festem oder flüssigem Zustande befindlich, weissglühend, dass aber dieser weissglühende Kern von einer gleichfalls glühenden Gasatmosphäre umgeben sei, in welcher verschiedene Stoffe in gasförmigem Zustande verbreitet sind. Wir müssen alle Stoffe als gasförmig in der Sonnenatmosphäre vorhanden annehmen, deren Flammenspectra aus hellen Linien bestehen, welche genau mit Fraunhofer'schen Linien zusammenfallen, wie dies, wie wir gesehen haben, für das Natrium und für das Eisen der Fall ist. In gleicher Weise ergiebt sich, dass die Sonnenatmosphäre ausser Natrium und Eisen auch noch Magnesium, Calcium, Chrom, Nickel, Kobalt, Mangan, Titanium u. s. w. enthält, während die Existenz von Silicium, Thallium, Chlor, Brom, Jod u. s. w. in der Sonnenatmosphäre nicht nachgewiesen ist, weil die diesen Stoffen entsprechenden dunklen Linien im Sonnenspectrum nicht vorkommen. (Das Sonnenspectrum mit den wichtigsten Fraunhofer'schen Linien s. Tab. 10, Fig. 1.)

Es bleibt nun noch übrig, das Wilson'sche Phänomen, welches die Aufstellung der Hypothese vom dunklen Sonnenkern veranlasst hat, auch nach der Annahme eines glühenden Sonnenkörpers zu erklären. Schon Galilei erklärte die Sonnenflecken für Wolken, welche in der gasförmigen Atmosphäre der Sonne schweben und als dunkle Flecken auf dem glänzenden Sonnenkörper erscheinen. Er sagt: „Wenn die Erde ein selbstleuchtender Körper wäre, so würde sie, von fern gesehen, dieselben Erscheinungen darbieten wie die Sonne. Je nachdem die eine oder die andere Gegend sich hinter einer Wolke befände, würde man bald an der einen, bald an der anderen Stelle der scheinbaren Erdscheibe Flecken wahrnehmen; dabei würde die grössere oder geringere Undurchsichtigkeit der Wolken eine grössere oder geringere Schwächung des Erdlichtes

herbeiführen. Zu gewissen Zeiten würde es wenig Flecken geben, zu anderen würde eine grosse Zahl sichtbar sein; einige würden sich zusammenziehen, andere dagegen sich weiter ausdehnen u. s. w."

Galilei's Ansicht über das Wesen der Sonnenflecken bedarf nur einiger Modificationen, um das Wilson'sche Phänomen vollständiger und ungezwungener zu erklären, als es durch die Herschel-Arago'sche Hypothese vom dunklen Sonnenkörper geschieht. Kirchhoff giebt diese Erklärung in folgender Weise:

„In der Atmosphäre der Sonne müssen ähnliche Vorgänge stattfinden, wie in der unserigen; locale Temperaturerniedrigungen müssen dort wie hier die Veranlassung zur Bildung von Wolken geben; nur werden die Sonnenwolken ihrer chemischen Beschaffenheit nach von den unserigen verschieden sein. Wenn eine Wolke dort sich gebildet hat, so werden alle über derselben liegenden Theile der Atmosphäre abgekühlt werden, weil ihnen ein Theil der Wärmestrahlen, welche der glühende Körper der Sonne ihnen zusendet, durch die Wolken entzogen wird. Diese Abkühlung wird um so bedeutender sein, je dichter und grösser die Wolke ist, und dabei erheblicher für diejenigen Punkte, welche nahe über der Wolke liegen als für die höheren. Eine Folge davon muss sein, dass die Wolke mit beschleunigter Geschwindigkeit von oben her anwächst und kälter wird. Ihre Temperatur sinkt unter die Glühhitze, sie wird undurchsichtig und bildet den Kern eines Sonnenfleckens. Aber auch noch in beträchtlicher Höhe über dieser Wolke findet Temperaturerniedrigung statt; sind hier irgendwo durch die Tiefe der schon herrschenden Temperatur oder durch das Zusammentreffen zweier Luftströme die Dämpfe ihrem Condensationspunkte nahe gebracht, so wird diese Temperaturerniedrigung die Bildung einer zweiten Wolke bewirken, die weniger dicht ist als jene, weil in der Höhe der geringeren Temperatur wegen die Dichte der vorhandenen Dämpfe kleiner ist als in der Tiefe, und die, theilweise durchsichtig, den Halbschatten bildet, wenn sie eine hinreichende Ausdehnung gewonnen hat. — — —

Jene beiden Wolkenschichten spielen bei der Theorie der Sonnenflecken, die ich vertheidige, dieselbe Rolle, wie die beiden Oeffnungen der wolkigen Atmosphäre und der Photosphäre bei derjenigen, welche ich angreife. Denkt man sich die beiden Wolken von denselben Dimensionen und an denselben Orten als die beiden Oeffnungen, so erklärt sich das Wilson'sche Phänomen nach beiden Theorien in genau gleicher Weise."

Uebrigens ist noch zu bemerken, dass das Wilson'sche Phänomen keineswegs bei allen Sonnenflecken auftritt.

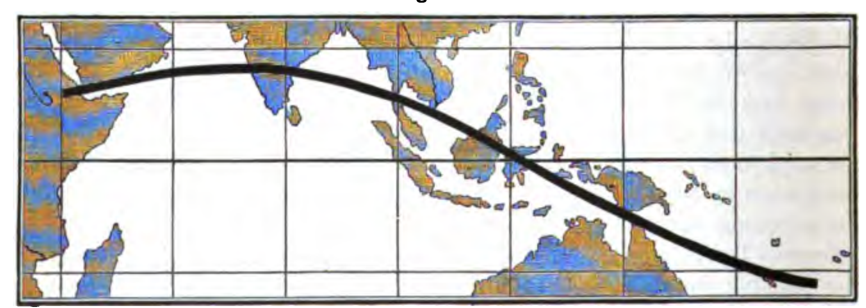
Nach Zöllner sind die Sonnenflecken ungeheure Schlackenmassen, welche auf der feurigflüssigen Sonnenoberfläche schwimmen. In den über der Schlackenmasse befindlichen Theilen der Sonnenatmosphäre müssen sich aber wegen der geringeren Strahlung an dieser Stelle wolkenartige Condensationsproducte bilden, durch welche hindurch die

Schlackeninsel als Kernfleck erscheint, während die Wolkenwände die Penumbra bilden.

126 **Protuberanzen und Corona.** Schon seit sehr langer Zeit hat man bemerkt, dass die Sonnenoberfläche bei totalen Sonnenfinsternissen noch ganz besondere Erscheinungen zeigt, die man aber früher wenig genau untersuchen konnte, weil die Totalität der Finsternisse immer nur wenige Minuten dauert, und es dabei von Interesse ist, auf mehr als eine Erscheinung zu achten. Zweierlei Phänomene sind dabei besonders hervortretend, nämlich 1) die Protuberanzen, und 2) die Corona.

Die Protuberanzen erscheinen als rothe flammen- oder wolkenartige Gebilde von höchst verschiedenen Formen. Sie sind namentlich seit dem Jahre 1851 mit grosser Aufmerksamkeit beobachtet, doch gelang es erst im Jahre 1868 mit Hülfe der Spectralanalyse, ihre physische Beschaffenheit festzustellen. Bis zum Jahre 1860 war man sogar im Zweifel, ob

Fig. 191.



die Protuberanzen der Sonne oder dem Monde angehörten; bei der in diesem Jahre stattfindenden Finsterniss fand man aber durch fortgesetzte Messungen ihrer Höhe, dass sie zur Sonne gehörten.

Im Jahre 1868 war das Spectroskop schon in allgemeiner Anwendung, und zur Beobachtung der in diesem Jahre am 18. August im südlichen Theile von Asien stattfindenden Sonnenfinsterniss wurden viele Beobachter, unter Anderen auch von Deutschland, ausgeschickt.

Zur Zeit dieser Finsterniss befand sich die Sonne fast in ihrer Erdferne, der Mond aber in seiner Erdnähe und in Folge dessen war die Dauer der totalen Verfinsterung ungewöhnlich gross. Während die totale Verfinsterung im Jahre 1860 nur $2^1/_2$ Minuten gedauert hatte, betrug die Dauer der totalen Verfinsterung im Jahre 1868 auf der Westküste von Vorderindien $5^m\,10^s$, an der Ostküste $5^m\,45^s$ und erreichte im Golf von Siam ihr Maximum von $6^m\,50^s$. Das Kärtchen Fig. 191 zeigt die Zone der Totalität, welche bei einer Breite von 30 geographischen Meilen eine Länge von 2000 Meilen hatte.

Eine norddeutsche Expedition beobachtete zu Mulvar an der Westküste von Vorderindien, während die norddeutsche photo-

graphische Expedition ihre Aufstellung in der Nähe von Aden an der Südspitze von Arabien genommen hatte. In der Nähe von Aden beobachteten auch die Mitglieder der österreichischen Expedition. Englische Beobachter waren an der West- und an der Ostküste von Vorderindien placirt. An der Ostküste von Vorderindien stellte auch der französische Physiker Janssen seine ergebnissreichen Beobachtungen an, während eine andere französische Expedition ihren Standpunkt auf der Halbinsel Malacca gewählt hatte.

Leider ist die Beobachtung dieser vielversprechenden Finsterniss nicht von der Witterung begünstigt gewesen. An der Westküste von Indien, wo die Finsterniss 5 Minuten dauerte, herrschte so trübes Wetter, dass die deutsche Expedition die Sonne nur 5 Secunden lang durch eine Wolkenlücke beobachten konnte, eine Zeit, welche jedoch hinreichte, um die Lage und Dimensionen einiger Protuberanzen zu bestimmen. Auf der Ostküste Vorderindiens klärte sich der Himmel auf und gestattete umfänglichere Beobachtungen. In Aden, wo die Finsterniss um $6^h 20^m$ Morgens begann, herrschte zwar auch trübes Wetter, es wurde jedoch möglich, die Sonne durch die Wolken zu beobachten und mehrere gute Photographien zu erhalten.

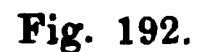

Fig. 192.



Fig. 192 stellt eine Totalansicht der Finsterniss dar; man erkennt in der Corona deutlich mehrere Protuberanzen, von denen die oben rechts besonders merkwürdig ist. Sie erscheint auf den zu Aden aufgenommenen Photographien und wurde nicht allein 32 Minuten später zu Mulvar, also ungefähr 350 Meilen von Aden entfernt, von der deutschen, sondern auch noch in Hinterindien von der französischen Expedition nahezu in derselben Lage und Gestalt beobachtet, woraus unzweifelhaft hervorging, dass diese Gebilde dem Sonnenkörper selbst angehören. Die scheinbare Höhe dieser Protuberanz ist von Engländern und Franzosen gemessen und gleich drei Minuten gefunden worden, wonach die wahre Höhe dieses Gebildes gegen 20 000 geographische Meilen betragen muss. Weiss (österr. Exped.) beobachtete diese grosse, während der Totalität der Finsterniss selbst mit blossem Auge sichtbare, in lebhaftem Carmin

glänzende Protuberanz noch eine Minute lang nach dem Hervorbrechen der Sonne, bis eine Wolke sie verdeckte.

Die Spectralanalyse der Protuberanzen, welche theils an der Ostküste von Vorderindien, theils auf der Halbinsel Malacca von Rayet, A. Herschel, Tennant, Janssen und Anderen ausgeführt wurden, lieferten den unumstösslichen Beweis, dass diese Gebilde gasförmiger Natur sind. Bei Anwendung des mit Fernrohren verbundenen, in einem der nächsten Paragraphen ausführlicher zu besprechenden geradsichtigen Spectroskops (spectroscope à vision directe) ergab sich nämlich, dass das Spectrum der Protuberanzen aus einigen isolirten hellen Linien besteht. Einige Beobachter zählten deren neun, andere fünf oder nur drei. Die den Fraunhofer'schen Linien C und F entsprechenden hellen Linien wurden von allen Beobachtern wahrgenommen und somit ist also glühendes Wasserstoffgas der wesentlichste Bestandtheil der Protuberanzen; ausser diesen beiden Hauptlinien wurden aber auch von einzelnen Beobachtern eine Linie nahe bei D (gewöhnlich mit D_3 bezeichnet), eine Linie nahe bei G und mehrere andere gesehen, die mit irdischen Stoffen nicht haben in Uebereinstimmung gebracht werden können. Die sehr auffällige Linie D_3, welche sich auch im Spectrum der Chromosphäre findet, schreibt man einem Stoffe zu, den man Helium genannt hat.

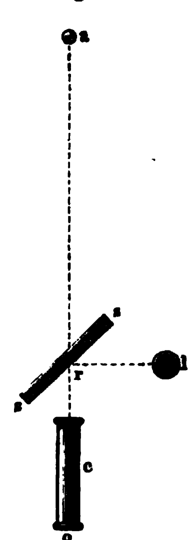
Die grosse Helligkeit der Linien des Protuberanzspectrums erregte bei Janssen die Hoffnung, dieselben auch ausser der Zeit einer totalen Sonnenfinsterniss, also jederzeit mit dem Spectroskop beobachten zu können, wenn nur überhaupt die Sonne am Himmel steht. Der gleich am 19. August, dem Tage nach der totalen Finsterniss, von ihm gemachte Versuch bestätigte seine Hoffnung auf das Vollständigste. Er richtete den Spalt des an einem grossen Fernrohre angebrachten Spectroskops radial auf den Rand der Sonnenscheibe, und zwar nach Stellen, an welchen er Tags zuvor leuchtende Protuberanzen beobachtet hatte. Es zeigten sich zwei Spectra, nämlich das des Sonnenrandes mit den dunklen Linien und das aus hellen Linien bestehende Spectrum der Protuberanzregion. Um den störenden Glanz des Sonnenspectrums zu vermeiden, wurde das Instrument so gestellt, dass das Gelb, Grün und Blau ausserhalb des Gesichtsfeldes fiel und nur das Roth übrig blieb; es zeigte sich jetzt die dunkle Linie C im Spectrum des Sonnenrandes und in der Verlängerung desselben eine hellglänzende, rothe Linie. Es zeigte sich ferner ein aus nur wenigen hellen Linien gebildetes Spectrum, wenn der Spalt von dem Sonnenrande ganz entfernt wurde, so dass er nur auf die Protuberanzen gerichtet war.

Der Grund, weshalb die Protuberanzen nicht unter den gewöhnlichen Verhältnissen bei Abblendung des intensiven Sonnenbildes sichtbar sind, liegt einfach in den das Bild der Protuberanz überdeckenden, stark beleuchteten Theilchen unserer Atmosphäre. Bei einer totalen Sonnenfinsterniss wird dieses superponirte Licht so bedeutend abge-

schwächt, dass die intensiv leuchtenden Protuberanzen sammt der Corona sichtbar werden.

Die Möglichkeit, die Protuberanzen bei vollem Tageslicht sichtbar zu machen, beruht nun darauf, dass das Licht der Protuberanzen nur aus drei homogenen Lichtarten besteht, bei prismatischer Zerlegung also drei lichtstarke, isolirte Bilder liefert, während das weisse, superponirte Licht der Atmosphäre zu einem vollständigen Spectrum von verhältnissmässig geringer Lichtstärke ausgebreitet, also an den einzelnen Stellen des Spectrums so abgeschwächt wird, dass es die hier auftretenden lichtstarken Protuberanzbilder nicht mehr unsichtbar machen kann.

Fig. 193.



Von der Anwendbarkeit dieses Princips kann man sich leicht auf folgende Weise überzeugen. Es sei *a*, Fig. 193, die durch Kochsalz gelb gefärbte Flamme eines Bunsen'schen Brenners, welchen man durch ein 3 bis 4 m von *a* aufgestelltes (in einem der folgenden Paragraphen näher zu besprechendes) geradliniges Spectroskop *c* betrachten kann, dessen Spalt gerade so weit geöffnet wird, dass die Flamme *a* ihrer ganzen Breite nach sichtbar ist. Zwischen *a* und *c* wird nun eine unbelegte Platte von geschliffenem Spiegelglas unter einem Winkel von 45⁰ gegen *ac* aufgestellt, welche das Licht einer seitlich bei *l* aufgestellten, hell leuchtenden Argand'schen Lampe in einer Richtung *ro* reflectirt, welche mit *ao* zusammenfällt. Sieht man von *o* aus ohne Spectroskop nach *a* hin, so ist der Glanz des Spiegelbildes von *l* so stark, dass die Natriumflamme bei *a* vollkommen unsichtbar wird; sieht man aber durch das bei *c* aufgestellte Spectroskop, so erscheint nun die gelbe Flamme *a* hellglänzend auf dem lichtschwachen Spectrum, zu welchem das Bild von *l* ausgebreitet wird.

Durch einen solchen, nur etwas anders arrangirten Versuch hat Zöllner die Richtigkeit dieses Princips erläutert.

Schon im Jahre 1866 hatte Lockyer versucht, auf diesem Wege das Spectrum der Protuberanzen zu beobachten, es gelang ihm aber nicht, weil sein Prismenapparat nicht die hinlängliche zerstreuende Kraft hatte. Janssen wandte ein stärker zerstreuendes Prismensystem an, durch welches das Spectrum der hell erleuchteten Luft mehr ausgebreitet und abgeschwächt wurde, während die homogenen Linien des Protuberanzspectrums keine weitere Ausbreitung und Abschwächung erfuhren.

Mit dem besten Erfolge wurden nun nach Janssen's Vorgang die Spectra der Protuberanzen auch in Europa beobachtet, namentlich von Lockyer, Secchi, Tietjen u. s. w. Secchi constatirte im Spectrum

der Protuberanzen ausser den Wasserstofflinien noch das Vorkommen einer hellen Linie nahe bei *B* und einer solchen nahe bei *D* (nicht *B* und *D* selbst), einer hellen Linie zwischen den hellen Magnesiumlinien *b* und einiger Eisenlinien. (Die drei Hauptlinien der Protuberanzen siehe Tab. 10, Fig. 6.)

Die ferneren Beobachtungen des Sonnenrandes mittelst des Spectroskops zeigten alsbald, dass die ganze Sonne rings von einer Hülle desselben Gases umgeben ist, welches die Protuberanzen bildet, so dass also die Protuberanzen nur als locale Anhäufungen dieses Gases erscheinen. Die scheinbare Höhe dieser mit dem Namen der Chromosphäre bezeichneten glühenden Wasserstoffhülle wird von verschiedenen Beobachtern übereinstimmend zu 15″ angegeben, was einer wahren Höhe von 1660 geographischen Meilen entspricht.

Secchi hat ferner bemerkt, dass unmittelbar am Sonnenrande die Wasserstofflinien, und zwar namentlich *C*, aufhören, als dunkle Linien zu erscheinen, dass man sich aber erst etwas vom Rande entfernen muss, wenn man sie als helle Linien wahrnehmen will. Das Verschwinden der dunklen Linie *C* beobachtete Secchi auch, als er den Spalt des Spectroskops auf die in der Umgebung von Sonnenflecken auftretenden Fackeln richtete, ein Beweis, dass hier das Licht des Wasserstoffs hinlänglich intensiv war, um die durch denselben bewirkte Absorption zu compensiren. An der Stelle der Fackeln findet also ebenfalls eine mächtige Anhäufung des glühenden Wasserstoffs statt.

Die sorgfältige Beobachtung des Protuberanzspectrums gestattet aber auch annähernd wenigstens, die Gestalt der Protuberanz selbst zu ermitteln. Die Länge der hellen Spectrallinien giebt uns nämlich Auskunft über die Höhe der Protuberanz an der Stelle, auf welche gerade der Spalt gerichtet ist; zeigt sich eine von dem Sonnenrande durch einen dunklen Zwischenraum getrennte helle Linie, so kann man daraus schliessen, dass man es mit einer isolirt über der Sonne schwebenden Wasserstoffwolke zu thun habe. Man braucht nur den Spalt des Spectroskops nach und nach auf die verschiedenen Partien einer Protuberanz zu richten, überall Länge und Lage der hellen Spectrallinien zu notiren, um alsdann aus der Zusammenstellung dieser Data die Gestalt der ganzen Protuberanz zu construiren, wie dies Janssen in der That mit Erfolg gethan hat.

Die vollkommenste Methode zur Beobachtung der Protuberanzen hat aber Zöllner ausgemittelt; sie besteht einfach darin, dass man den Spalt des am Fernrohr angebrachten und auf die Protuberanz gerichteten Spectroskops weit genug öffnet, um die ganze Protuberanz übersehen zu können, so dass statt der getrennten hellen Spectrallinien ungetrennte farbige Bilder der ganzen Protuberanz im Gesichtsfelde erscheinen, und zwar beobachtete Zöllner deren drei, ein rothes (*C*) und ein blaues (*F*), und zwischen ihnen ein gelbes, welches sich aber von den beiden anderen dadurch unterscheidet, dass es nur für die unteren Partien der Protuberanz sichtbar ist. Es rührt das gelbe Bild also offenbar von

einem schweren glühenden Gase her, welches nicht bis zu der Höhe des glühenden Wasserstoffgases aufsteigt.

Tab. XXX und XXXI des Atlas stellt eine Reihe der von Zöllner beobachteten Protuberanzen dar. Bei einem Theil der hier dargestellten Protuberanzen ist die scheinbare Höhe beigeschrieben. Die 120″ hohe Protuberanz, Fig. 2, zeigte eine züngelnde Bewegung, und zwar betrug die Zeit, welche eine solche Flammenwelle brauchte, um sich von der Basis bis zur Spitze des Gebildes fortzupflanzen, 2 bis 3 Secunden. Trotz eifrigen und andauernden Suchens ist es Zöllner nicht gelungen, eine ähnliche Erscheinung wieder zu beobachten.

Von der grossen Schnelligkeit jedoch, mit welcher sich die Protuberanzen ihrer Form und Intensität nach verändern, geben die übrigen Abbildungen der Tab. XXX interessante Beispiele. Fig. 3 stellt sechs rasch auf einander folgende Phasen einer und derselben, am 1. Juli beobachteten Protuberanz dar, wie sie zu den unten beigesetzten Zeiten erschien. Tab. XXXI stellt eine von Zöllner und Tab. XXXII stellt einige von Secchi beobachtete Protuberanzen in grösserem Maassstabe dar.

Man unterscheidet zweierlei Arten von Protuberanzen, nämlich die wolkenförmigen und die eruptiven. Die ersteren haben eine grosse Aehnlichkeit mit unseren irdischen Wolken oder mit den Rauchmassen, wie sie sich über den feuerspeienden Bergen zur Zeit der Ausbrüche bilden. Sie bestehen, wie das Spectroskop zeigt, hauptsächlich aus Wasserstoffgas und dem bereits genannten Helium, und verändern ihre Form verhältnissmässig langsam. Die eruptiven Protuberanzen brechen an Stellen, die vorher nichts Auffallendes zeigten, plötzlich in Säulenform, wie der Wasserstrahl eines Springbrunnens, zu ungeheuren Höhen empor, die zum Theil die Hälfte der Entfernung des Mondes von der Erde erreichen, und mit einer Geschwindigkeit, welche bisweilen über 40 geographische Meilen in der Secunde beträgt. Hier finden sich ausser dem Wasserstoff und dem Helium noch manche andere Stoffe, wie Eisen, Magnesium, Natrium, Baryum und Titan, die wohl durch die Gewalt der Eruption aus grösseren Tiefen emporgeschleudert werden.

Weit räthselhafter als die Protuberanzen ist die sogenannte Corona, ein bei totalen Sonnenfinsternissen auftretender weisslicher Hof um die Sonne von häufig sehr unregelmässiger Form, die zum Theil einem raschen Wechsel unterworfen ist. Die Ausdehnung dieses Hofes ist zum Theil überaus gross, weit grösser als der Durchmesser der Sonne. Bei Gelegenheit mehrerer Sonnenfinsternisse, namentlich denjenigen der Jahre 1878 und 1889, welche in Nordamerika sichtbar waren, wurde die Corona genau untersucht und von vielen Stationen aus gezeichnet, doch zeigen die Zeichnungen theilweise sehr wesentliche Unterschiede. Die spectroskopische Untersuchung zeigte, dass die Corona ein schwaches continuirliches Spectrum ergiebt mit einer hellen, grünen Linie (1474 der Kirchhoff'schen Scala), die sich auch im Spectrum der Protuberanzen findet, dagegen nicht in dem Spectrum der Sonne selbst, auch hat sie mit keiner

Linie eines irdischen Stoffes bisher identificirt werden können. Ausser dieser Linie, welche man die Coronalinie nennt, haben einige Beobachter noch andere Linien gesehen, z. B. die bereits erwähnte Linie D_3 des Helium.

Es ist nun die Vermuthung ausgesprochen worden, dass das Wasserstoffgas möglicherweise in der Sonnenatmosphäre theilweise dissociirt vorkommt, und dass es ein zusammengesetztes Gas ist, dessen einzelne Bestandtheile die Linie D_3 und die Coronalinie ergeben. Einzelne Beobachter wollen ausser diesen hellen Linien noch dunkle Linien gesehen haben, und es würde dies ein Zeichen davon sein, dass das Licht der Corona theilweise reflectirtes Sonnenlicht ist. Hierüber müssen fortgesetzte Untersuchungen Aufklärung geben. Leider kann man die Corona nur zur Zeit der totalen Sonnenfinsternisse wahrnehmen. Der Engländer Huggins war zwar eine Zeit lang der Ansicht, dass die Strahlen der Corona auch zu anderen Zeiten chemisch wirksam sind und sich auf Photographien zeigen, indessen hat sich diese Vermuthung nicht bestätigt.

Wie bei der Frequenz der Sonnenflecken, so hat man auch bezüglich der Ausdehnung und Form der Corona eine elfjährige Periode vermuthet, indessen ist hier das Beobachtungsmaterial so spärlich, dass es wohl zu früh erscheint, eine derartige Hypothese aufzustellen.

127 **Physische Constitution der Sonne.** Frankland hat die interessante Entdeckung gemacht, dass eine Wasserstoffflamme, in Sauerstoff von hohem Druck brennend, mit hellem Lichte leuchtet und ein ganz continuirliches Spectrum liefert, wie glühende feste oder flüssige Körper. Dies veranlasste Wüllner (Pogg. Ann. CXXXVII), das Licht des Inductionsfunkens spectroskopisch zu untersuchen, wenn derselbe nicht durch verdünnte, sondern durch verdichtete Gase hindurchgeht.

Wüllner hat gefunden, dass das Wasserstoffspectrum ein continuirliches wird, wenn das Gas in der Spectralröhre eine grosse Dichtigkeit hat und man dasselbe durch einen grossen Ruhmkorff'schen Apparat mit eingeschalteter Leydener Flasche ins Glühen bringt.

Geht der Funken, welchen der Apparat bei eingeschalteter Flasche liefert, durch eine Röhre, in welcher das Wasserstoffgas nur dem Druck einer Quecksilbersäule von 23 mm Höhe ausgesetzt ist, so besteht das Spectrum noch aus den bekannten drei hellen Linien H_α, H_β und H_γ, von denen die blaue und violette schon verwaschen sind. Der Hintergrund ist noch dunkel und nur zwischen D und F schwach erleuchtet.

Bei zunehmendem Druck dehnen sich H_β und H_γ immer mehr aus, so dass sie bald nur noch als Helligkeitsmaxima auf einem immer heller werdenden, continuirlich erleuchteten Grunde erscheinen; gleichzeitig wird allmählich auch H_α weniger scharf und verbreitert sich, so dass diese rothe Linie bei einem Druck von 300 mm als ein breites, rothes Band erscheint, welches von dem in Orange beginnenden continuirlichen Spectrum nicht

mehr durch einen ganz dunklen, sondern nur durch einen mit schwächerem Lichte leuchtenden Raum getrennt ist.

Bei steigendem Druck nimmt die Helligkeit des continuirlichen Spectrums an allen Stellen zu, so dass bei einem Druck von 1000 mm das Spectrum zwischen dem etwas verbreiterten H_α bis H_γ ganz continuirlich ist, wie das Spectrum eines weissglühenden, festen Körpers, nur mit etwas anders vertheilter Helligkeit. Bei 1230 mm Druck war das ganze Spectrum wahrhaft blendend; es zeigte in Folge des bei der hohen Temperatur aus dem Glase verdampften Natriums die Natriumlinie als schöne dunkle Linien. — Zur Erzeugung Fraunhofer'scher Linien ist also das Licht eines glühenden festen oder flüssigen Körpers nicht absolut nöthig.

Demzufolge ist es nun nach Zöllner wahrscheinlich, dass die sichtbare Oberfläche der Sonnenscheibe durch diejenige Schicht der Wasserstoffatmosphäre gebildet wird, für welche durch gesteigerten Druck das Spectrum continuirlich geworden ist. Die glühendflüssige Oberfläche der Sonnenkugel aber liegt unterhalb dieser hell leuchtenden Schicht von Wasserstoffgas.

Betrachtet man die Sonnenflecken als schlackenartige locale Abkühlungsproducte auf der glühendflüssigen Oberfläche und die Penumbra als Condensationswolken, welche in einer gewissen Höhe die Küsten jener Schlackeninseln umkränzen, so liegen also die Kerne der Sonnenflecken wirklich tiefer als die sichtbare Sonnenoberfläche, und das Wilson'sche Phänomen findet so seine einfache ungezwungene Erklärung.

Die Tiefe der Sonnenflecken unter der leuchtenden Oberfläche beträgt, verschiedenen Beobachtungen zufolge, ungefähr 8 Secunden. Bezeichnen wir mit R den beobachteten Sonnenhalbmesser, mit r den Radius der glühendflüssigen Sonnenkugel, so ist also

$$r = R - 8''$$

oder R in mittlerer Entfernung der Sonne zu $16'$ angenommen,

$$r = 15'\ 52''.$$

Nimmt man die mittlere Parallaxe der Sonne nach Hansen zu 8,915″ an, so ergiebt sich für den mittleren Abstand der Sonne von der Erde

$$8'' = 5\,722\,500 \text{ m und}$$
$$r = 680\,930\,000 \text{ m.}$$

Die bei den Ausbrüchen der sogenannten eruptiven Protuberanzen hervorbrechenden Wasserstoffmassen rühren, wie es Zöllner wahrscheinlich gemacht hat (Pogg. Ann. CXLI), von localen Ansammlungen her, welche sich in den unterhalb der flüssigen Oberfläche gelegenen Schichten bilden und ihre äussere Begrenzung durch die wachsende Spannung des eingeschlossenen Gases durchbrechen.

Zöllner hat oft derartige Protuberanzen beobachtet, welche in 10 bis 12 Minuten bis zu einer scheinbaren Höhe von 1,5 bis 3 Bogenminuten, also bis zu einer wahren Höhe von 64 bis 128 Millionen Meter aufstiegen.

Es sei nun v die Geschwindigkeit, mit welcher die Gasmasse m aus der in der flüssigen Oberfläche gebildeten Oeffnung hervorströmt, so ist ihre lebendige Kraft $m \frac{v^2}{2g}$, wenn g die beschleunigende Kraft der Schwere auf der Oberfläche der Sonne bezeichnet. Die dieser lebendigen Kraft entsprechende Wärmemenge ist

$$W = A \frac{v^2}{2g} \cdot m,$$

wenn A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit ist.

Nehmen wir an, dass der Wasserstoff unter einem constanten Druck aus dem Inneren durch die Oeffnung ausströmt, so ist die Wärmemenge, welche beim Ausströmen der Gasmenge m verschwindet, indem sich dieselbe von der Temperatur t_i (der Temperatur im Inneren) bis zur Temperatur t_a (Temperatur an der oberen Grenze der Mündung) abkühlt,

$$W' = m \,.\, c\,(t_i - t_a),$$

wenn c die specifische Wärme des Wasserstoffs bei constantem Druck bezeichnet.

Diese Wärmemenge ist es aber, von welcher die lebendige Kraft des ausströmenden Gases herrührt, wir haben also $W = W'$ und daraus

$$A \frac{v^2}{2g} = c\,(t_i - t_a) \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Bezeichnet man mit H die Höhe, bis zu welcher ein mit der Anfangsgeschwindigkeit v in die Höhe geschleuderter Körper über die Sonnenoberfläche aufsteigen wird, so haben wir (wenn die Abnahme der Schwerkraft, welche der wachsenden Entfernung vom Sonnenmittelpunkte entspricht, unberücksichtigt bleibt):

$$H = \frac{v^2}{2g} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

folglich nach Gleichung 1):

$$t_i - t_a = \frac{AH}{c} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Setzen wir in diese Gleichung für A, H und c ihre Zahlenwerthe, nämlich $A = \frac{1}{424}$, $H = 64\,000\,000$ und $c = 3{,}409$, so ergiebt sich

$$t_i - t_a = 44\,270^0,$$

d. h. die absolute Temperatur der eingeschlossenen Gasmasse ist um 44 270° C. höher, als die Temperatur der Sonnenatmosphäre unmittelbar über der glühendflüssigen Oberfläche der Sonne.

Setzen wir in Gleichung 2) für H seinen Werth 64 000 000 m, für g aber seinen Werth 274 m, so ergiebt sich

$$v = 187\,250 \text{ m},$$

d. h. eine Geschwindigkeit von 25 geographischen oder 123 englischen Meilen.

Auf die Principien der mechanischen Wärmetheorie sich stützend, berechnete Zöllner nach Formeln, auf deren Entwickelung hier nicht eingegangen werden kann, für die mittlere Temperatur der Sonnenatmosphäre den Werth

$$t = 27\,000^0\,\mathrm{C.},$$

eine Temperatur, welche so hoch ist, dass das Eisen in der Sonnenatmosphäre dauernd in gasförmigem Zustande existiren muss.

Die Temperatur im Inneren der Sonne betrüge danach ungefähr 70 000° C.

Zöllner berechnet ferner, dass der Druck an der Stelle, an welcher das Wasserstoffspectrum continuirlich zu werden beginnt, ungefähr $^1/_4$ des irdischen Atmosphärendrucks beträgt. Danach aber ergiebt sich der Druck auf der Oberfläche der flüssigen Trennungsschicht gleich dem von

184 000 Atmosphären,

im Inneren der Räume aber, aus welchen die Protuberanzen hervorbrechen, wäre demnach der Druck

4 070 000 Atmosphären,

also ein so enormer Druck, dass selbst bei der hohen Temperatur, welche hier herrscht, die permanenten Gase, also auch der Wasserstoff, nur im glühendflüssigen Zustande existiren können.

Die Quelle der Sonnenwärme mag vorläufig noch in Frage gestellt bleiben.

Das Zodiacallicht. Um die Zeit der Frühlings-Tag- und Nacht- 128
gleiche erscheint manchmal an sternhellen Abenden, wenn die letzte Spur der Dämmerung verschwunden ist, am westlichen Horizonte ein schwacher Lichtstreifen, meist noch matter als das Licht der Milchstrasse, welcher die Form einer schief auf dem Horizont stehenden Pyramide hat.

Die Basis dieses unten breiter werdenden Lichtkegels erscheint ungefähr da, wo die Sonne untergegangen ist; die Axe desselben ist gegen die Stelle hin gerichtet, an welcher sich eben die schon untergegangene Sonne befindet; sie fällt immer ziemlich genau mit der Ekliptik zusammen, daher der Name Zodiacallicht.

In unseren Gegenden bildet in der genannten Jahreszeit die Axe des Lichtkegels des Abends einen Winkel von ungefähr 64° mit dem Horizont.

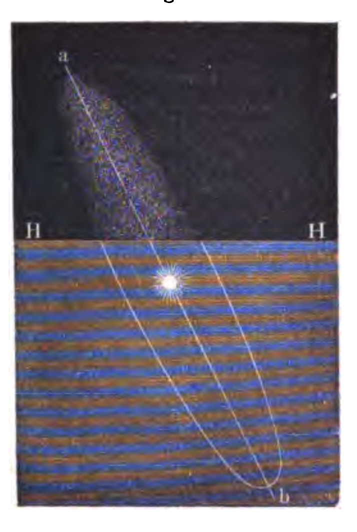
Am östlichen Himmel erscheint das Zodiacallicht wohl auch und zwar des Morgens vor Sonnenaufgang zur Zeit des Herbstäquinoctiums, aber doch nie so lichtstark, wie zur Zeit des Frühlingsäquinoctiums am Abendhimmel.

Dass das Zodiacallicht selbst im Frühjahr selten wahrgenommen wird, beruht nur darauf, dass gerade im Februar und März der Himmel

Abends selten so rein ist, wie es zur Wahrnehmung einer so zarten Lichterscheinung nothwendig ist.

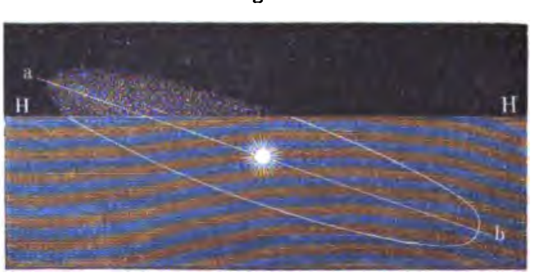
Von der beschriebenen Erscheinung, welche das Zodiacallicht darbietet, kann man sich am besten Rechenschaft geben, wenn man sich vorstellt, dass die Sonne von einer ungeheuren linsenförmig abgeplatteten Atmosphäre umgeben sei, in deren Mittelpunkt sie steht und deren grösste Ausdehnung in die Ebene der Ekliptik fällt. Eine solche Atmosphäre würde sich von der Erde aus gesehen ungefähr so darstellen, wie Fig. 194 und Fig. 195 zeigt; da sie aber nur ein äusserst schwaches Licht ausstrahlt, so kann sie nicht wahrgenommen werden, so lange die Sonne selbst noch über dem Horizont steht, sondern entweder nur vor Sonnenaufgang oder nach Sonnenuntergang.

Fig. 194.



Ferner ist die Sichtbarkeit des Zodiacallichtes an die Bedingung geknüpft, dass der Punkt a der fingirten Sonnenatmosphäre möglichst spät nach der Sonne untergeht, dass also die grosse Axe ab dieser Sonnenatmosphäre einen möglichst grossen Winkel mit dem Horizont HH macht. Da nun aber diese grosse Axe nahezu mit der Ekliptik zusammenfällt, so wird das Zodiacallicht vorzugsweise dann sichtbar sein, wenn in den Morgen- oder Abendstunden die Ekliptik möglichst steil aufgerichtet erscheint.

Fig. 195.



Für die nördliche Erdhälfte erscheint aber die Ekliptik am steilsten aufgerichtet, wenn der Frühlingspunkt im westlichen, der Herbstpunkt im östlichen Horizont steht, der Sommersolstitialpunkt aber culminirt. In den Abendstunden ist dies nun im Frühjahr, in den Morgenstunden ist es im Herbst der Fall, und daraus erklärt sich, warum das Zodiacallicht bei uns vorzugsweise in den oben bezeichneten Zeiten gesehen wird.

Den kleinsten Winkel macht die Ekliptik mit dem Horizont, wenn der Herbstpunkt eben unter-, der Frühlingspunkt eben aufgeht und der Wintersolstitialpunkt culminirt. Im mittleren Deutschland macht alsdann die Axe des Zodiacallichtes nur einen Winkel von ungefähr 17° mit dem Horizont, wie dies Fig. 195 angedeutet ist. Diese Lage hat das Zodiacallicht in den Morgenstunden des Frühjahres und in den Abendstunden des Herbstes; es sind dies für die Sichtbarkeit des Zodiacallichtes die



Fig. 196.



ungünstigsten Zeiten, wie man nach den obigen Auseinandersetzungen leicht sieht.

Je mehr man sich auf der Erde dem Nordpol nähert, desto mehr nimmt der Winkel ab, welchen die Ekliptik mit dem Horizont macht, desto ungünstiger werden also die Verhältnisse zur Beobachtung des Zodiacallichtes. Umgekehrt werden dieselben immer günstiger, wenn man sich der Aequatorialzone nähert, einmal, weil alsdann der Winkel, welchen die Axe des Zodiacallichtes mit dem Horizont macht, immer mehr wächst, und dann auch, weil in den Tropen der Himmel ungleich reiner ist als in höherer Breite. Deshalb ist denn auch zwischen den Wendekreisen die Erscheinung des Zodiacallichtes nicht allein weit brillanter, sondern auch weit häufiger, so dass Humboldt dasselbe einen beständigen Schmuck der Tropennächte nennt.

Auf der südlichen Hemisphäre ist die Zeit des Herbstäquinoctiums die günstigste Periode zur Beobachtung des Zodiacallichtes am Abendhimmel.

Während bei uns die Spitze des Zodiacallichtes stets nach Süden gerichtet ist, erscheint auf der südlichen Erdhälfte die Lichtpyramide des Zodiacallichtes nach Norden geneigt, so dass am Abendhimmel der Scheitel des Lichtkegels rechts von der Basis erscheint, wie man dies nach Fig. 196 (a. v. S.) sieht, welche das Zodiacallicht darstellt, wie es nach einer Zeichnung von Ludwig Becker am 11. October 1858 zu Melbourne in Australien beobachtet wurde. Ueber dem Gipfel des Zodiacallichtes erblickte man an jenem Abend in der Nähe der Mondsichel Venus und Antares, während in einiger Entfernung nach Norden hin (rechts von dem Zodiacallicht unserer Figur) der Donati'sche Komet stand, welcher am 11. October zu Melbourne zum ersten Male sichtbar war.

In sehr klaren Nächten, wenn das Zodiacallicht mit besonders grosser Deutlichkeit sichtbar ist, zeigt es eine besondere Erscheinung, welche noch nicht hat genügend erklärt werden können. Man sieht dann nämlich an der der Sonne gegenüberliegenden Stelle des Himmels ebenfalls einen blassen Schein, den sogenannten Gegenschein des Zodiacallichtes, von ähnlicher Gestalt, wie das letztere selbst, aber von weit geringerer Grösse und Lichtintensität. Bisweilen bildet sich sogar eine vollständige Verbindung zwischen beiden Lichtkegeln durch eine matte Lichtzone. Die Beobachtungen Schiaparelli's haben gezeigt, dass zu Zeiten ein förmlicher Lichtring sich über den ganzen Thierkreis erstreckt, mit einem Maximum der Intensität, welches mit dem Orte der Sonne zusammenzufallen scheint, einem zweiten Maximum, welches der Sonne gerade gegenübersteht; ferner zwei Minimis an zwei Punkten, die ungefähr 130^0 von der Sonne entfernt liegen.

Die plausibelste Erklärung für das Zodiacallicht ist wohl diejenige, nach welcher es durch eine sehr dünne, die Sonne in ring- oder linsenförmiger Gestalt umgebende Substanz hervorgebracht wird, welche sich noch etwas über die Erdbahn hinaus erstreckt. Sendete uns diese Materie nur reflectirtes Sonnenlicht zu, so liessen sich die beiden oben erwähnten Maxima der Lichtintensität nicht erklären, und selbst wenn wir die Hypothese zu Hülfe nehmen, dass ausser dem reflectirten noch eigenes Licht vorhanden ist, so bleibt in der Erscheinung des Zodiacallichtes Manches räthselhaft. Spectroskopische Untersuchungen des Lichtes haben ein deutliches continuirliches Spectrum erkennen lassen. Bisweilen hat sich auch eine helle, grüne Linie im Spectrum gezeigt, die mit einer Linie des Nordlichtspectrums zusammenfällt, die aber anscheinend nur zu solchen Zeiten sichtbar war, wenn wenigstens Spuren eines Nordlichtes am Himmel vorhanden waren. Durch das Polariskop erscheint das Zodiacallicht in der durch die Sonne gehenden Ebene theilweise polarisirt.

Photometrische Vergleichung der Fixsterne. Die Fixsterne werden, wie bereits im ersten Capitel des ersten Buches angeführt wurde, in verschiedene Grössenclassen eingetheilt. Da nun die Fixsterne selbst bei der stärksten Vergrösserung keinen wirklichen, messbaren Durchmesser zeigen, da also von einer Grösse eigentlich bei ihnen keine Rede sein kann, so bezieht sich jene Eintheilung nicht sowohl auf die Grösse, als vielmehr auf den Glanz der Fixsterne. 129

Die Eintheilung in Sterne erster, zweiter, dritter u. s. w. Grösse ist übrigens ursprünglich eine ganz willkürliche und conventionelle; es liegen ihr durchaus keine vergleichenden Messungen der Lichtstärke der Fixsterne zu Grunde. Der Erste, welcher eine solche Vergleichung versuchte, war der ältere Herschel, welcher folgende Methode in Anwendung brachte:

Zwei siebenfüssige, vollkommen gleiche Teleskope, welche also denselben Stern mit gleicher Helligkeit zeigten, wurden so neben einander gestellt, dass der Beobachter sich ungefähr in einer Secunde von dem Ocular des einen an das des anderen begeben konnte. Vor dasjenige Fernrohr nun, welches auf den helleren Stern gerichtet war, wurden Schirme vorgeschoben, welche der Reihe nach immer kleinere und kleinere centrale kreisförmige Oeffnungen hatten, bis man endlich bei einer Grösse der Oeffnung ankam, durch welche der hellere Stern gerade ebenso erschien, wie der andere durch das zweite Teleskop, dessen Oeffnung ganz frei war.

War z. B. das eine Fernrohr auf den Arcturus (α Bootis), das zweite auf γ des grossen Bären gerichtet, so zeigten sich beide Sterne gleich hell, wenn vor das erste Fernrohr ein Schirm gesetzt war, dessen Oeffnung einen viermal kleineren Flächeninhalt hatte, als die freie Oeffnung des zweiten Fernrohres, und daraus geht hervor, dass uns α Bootis viermal so viel Licht zusendet als γ Ursae majoris.

Die eben besprochene Methode, die Lichtstärke verschiedener Sterne zu vergleichen, leidet besonders an dem Uebelstande, dass man die beiden Sterne nicht gleichzeitig neben einander sieht. Diesem Uebelstande hat man auf verschiedene Weise durch Spiegelvorrichtungen abzuhelfen gesucht.

Seidel hat nach einer von Steinheil herrührenden Methode eine Reihe photometrischer Fixsternvergleichungen angestellt. Nimmt man die Helligkeit der Wega zur Einheit, so ist nach diesen Messungen Folgendes die Lichtstärke der bei uns hinlänglich deutlich erscheinenden Sterne erster Grösse:

Sirius	4,29	Procyon	0,70	Deneb	0,31
Wega	1,00	Atair	0,49	ε Canis majoris	0,31
Rigel	0,99	Spica	0,49	Aldebaran	0,30
Capella	0,82	Fomalhaut	0,34	Antares	0,29
Arcturus	0,79	Regulus	0,33	Pollux	0,29

α Orionis fehlt hier, weil er veränderlich ist.

Die hellsten Sterne der südlichen Halbkugel haben nach Herschel's Messungen, in demselben Maasse ausgedrückt, folgende Lichtstärke:

Canopus . . .	2,72	α Eridani . .	0,59	α Crucis . . .	0,52
α Centauri . .	1,33	β Centauri . .	0,53	β Crucis . . .	0,34

Nach Seidel's Messungen haben die verschiedenen Grössenclassen der Sterne folgende Helligkeiten (Helligkeit der Wega = 1):

Grösse:	Helligkeit:
2	0,17
3	0,05
4	0,015
5	0,0045
6	0,0013

d. h. die Helligkeit einer jeden Grössenclasse ist genähert = $^1/_3$ der Helligkeit der vorhergehenden Classe. Danach würde die Helligkeit der Sterne erster Grösse = 0,51 sein; da man aber alle Sterne, welche heller als Wega sind, bis zum Sirius mit der Helligkeit 4,29 in die erste Grössenclasse rechnet, so wird die mittlere Helligkeit der Sterne erster Grösse erheblich grösser.

Da ein Stern sechster Grösse ungefähr 770mal lichtschwächer ist als Wega, so würden also erst 3300 Sterne sechster Grösse zusammen die Helligkeit des Sirius erzeugen.

Durch Vergleichung der Wega mit Mars und Jupiter fand Seidel die Lichtstärke dieser beiden Planeten zur Zeit der Opposition gleich 6,8 und 8,5.

Wollaston verglich sowohl den durch Sonnenlicht als auch den durch Mondlicht bewirkten Schatten mit dem Schatten eines Kerzenlichtes, und fand so, dass die Sonne 800 000mal lichtstärker sei als der Vollmond. Später fand Bond das Verhältniss der Lichtstärken des Vollmondes und der Sonne wie 1 : 471 000, und Zöllner wie 1 : 619 000; der letztere Werth wird wohl der zuverlässigste sein. Ferner fand Zöllner das Licht der Sonne 56 000 Millionen mal heller als das des Sternes erster Grösse Capella, und da das Licht des Sirius fünfmal so hell ist wie das der Capella, so würde das Licht des Sirius sich zu dem der Sonne wie 1 : 11 000 Millionen verhalten. Nehmen wir nun die Parallaxe des Sirius zu 0,39″ an, so überträfe die absolute Lichtstärke des Sirius die der Sonne 25mal.

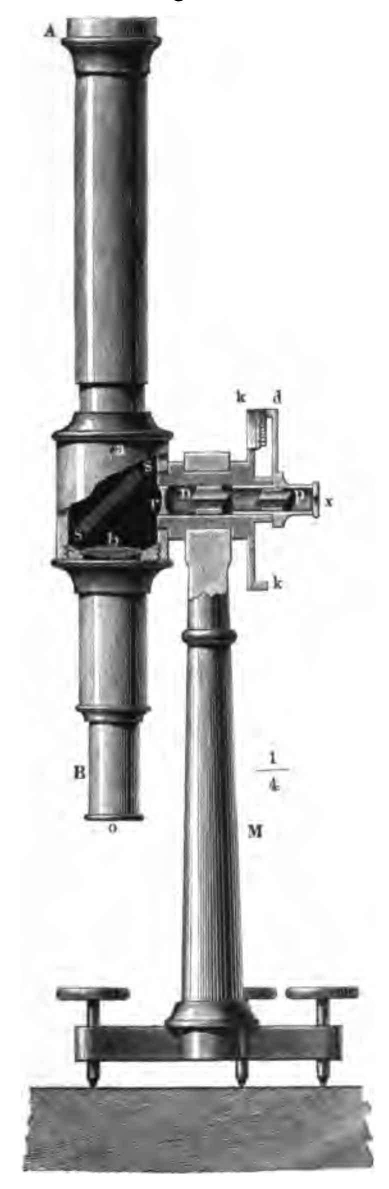
Wenn also unsere Sonne in derselben Entfernung von uns sich befände, wie Sirius, so würde sie 25mal lichtschwächer sein als dieser, sechsmal lichtschwächer als Wega; sie würde uns also etwa als ein Stern zweiter Grösse erscheinen.

Auf der im Herbst 1858 zu Karlsruhe gehaltenen Naturforscher-Versammlung machte Schwerd Mittheilung über ein von ihm zur photometrischen Vergleichung der Sterne construirtes Instrument, welches an Genauigkeit und Sicherheit alles übertraf, was in dieser Beziehung bis dahin geleistet worden war.

Das Instrument besteht im Wesentlichen aus zwei nach allen Richtungen beweglichen Fernrohren, welche auf die zu vergleichenden Sterne

gerichtet werden, deren Bilder aber mittelst äusserst sinnreicher, hier nicht näher zu beschreibender Vorrichtungen gleichzeitig und unmittelbar neben einander stehend gesehen werden.


Fig. 197.



Unter dem Titel „**Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels**“ hat **Zöllner** im Jahre 1861 eine umfangreiche Arbeit über den genannten Gegenstand publicirt, in welchem er ein von ihm construirtes, zur Helligkeitsmessung der Gestirne dienendes Instrument beschreibt, welches vor den meisten anderen den grossen Vorzug hat, dass es mit verhältnissmässig geringen Mitteln hergestellt werden kann. Mittelst dieses Instrumentes werden die Sterne des Himmels mit einem **künstlichen Sterne** verglichen, dessen Helligkeit durch eine Polarisationsvorrichtung beliebig abgeschwächt werden kann, bis er an Helligkeit dem zu beobachtenden Himmelsstern gleich ist. Da hier zur Abschwächung des künstlichen Sternes eine Polarisationsvorrichtung angewendet wird, so nennt **Zöllner** sein Instrument **Polarisations-Astrophotometer**.

Fig. 197 mag dazu dienen, das Wesentlichste der Einrichtung dieses Photometers verständlich zu machen. AB stellt ein Fernrohr dar, dessen Einrichtung etwas von der gewöhnlichen abweicht. Das **Ocular** ist unveränderlich bei b befestigt, während das bei A befindliche Objectiv in der Richtung der Axe des Rohres verschoben werden kann. Bei s ist eine planparallele Glasplatte so befestigt, dass sie einen Winkel von 45^0 mit der Axe des Rohres macht. Diesem durchsichtigen Spiegel gegenüber ist das Rohr seitlich durchbrochen, so dass ein Auge bei o das Spiegelbild einer bei x befindlichen, durch eine constante Lichtquelle er-

leuchteten feinen Oeffnung in der Axe des Fernrohres erblickt. Damit das Spiegelbild der kleinen (2 bis 4 mm weiten) Oeffnung x nicht gar zu weit hinter den Spiegel falle, ist bei r eine Hohllinse von kurzer Zerstreuungsweite angebracht, welche zugleich bewirkt, dass das bei a liegende Spiegelbild der Oeffnung x vollkommen sternartig erscheint.

Die Brennweite der Ocularlinse b muss so beschaffen sein, dass das Auge bei o das Spiegelbild bei a vollkommen scharf sieht. Durch Ausziehen der Röhre, an deren Ende A die Objectivlinse befestigt ist, kann man es leicht dahin bringen, dass das Bild, welches diese Objectivlinse von dem zu beobachtenden Sterne entwirft, gerade neben a entsteht, dass also der Stern des Himmels und der künstliche Stern gleichzeitig scharf gesehen werden.

In der von der Messingsäule M getragenen Hülse, welche die horizontale Umdrehungsaxe des Fernrohres bildet, ist ein Nicol'sches Kalkspathprisma n so eingesetzt, dass seine Lage gegen den Spiegel ss stets ungeändert bleibt, und zwar sind die Schwingungen der Strahlen, welche durch das Nicol gegangen sind, parallel mit der Ebene des Spiegels ss, so dass sie also möglichst vollständig von demselben reflectirt werden können.

Bei p ist ein zweites Nicol angebracht, welches um seine Axe gedreht werden kann, während n unverändert stehen bleibt, so dass also der Winkel, welchen die Schwingungsebenen der beiden Nicols mit einander machen, beliebig geändert werden kann. Mit dem Nicol p dreht sich der Nonius d, welcher sich längs des in 360° getheilten Kreises kk bewegt, an welchem demnach die Drehung des Nicols p abgelesen werden kann. Der Nonius d zeigt auf den Nullpunkt der Kreistheilung kk, wenn die Schwingungsebenen der beiden Nicols gekreuzt sind, in welchem Falle dann der künstliche Stern ganz verschwindet. Wird nun das Nicol p mit seiner Fassung aus dieser Stellung herausgedreht, so nimmt die Helligkeit des künstlichen Sternes um so mehr zu, je weiter sich der Nonius von dem Nullpunkte der Theilung entfernt, um ihr Maximum bei 90° zu erreichen.

Als constante Lichtquelle dient eine eigenthümlich construirte Gaslampe, deren Flamme vor x aufgestellt ist. Das Licht dieser Flamme kann nur durch eine kleine Oeffnung in einem geschwärzten Blechschirm auf die Oeffnung x fallen. So lange bei unveränderter Natur des Leuchtgases der Gaszufluss constant und die Flammenhöhe unverändert bleibt, kann man auch die Lichtstärke der Flamme als unveränderlich betrachten. Jedenfalls ist dies für alle in der gleichen Nacht gemachten Beobachtungen der Fall. Eigentlich sieht man zwei Spiegelbilder des Lichtpunktes x, nämlich eines durch Reflexion auf der Vorderfläche, eines durch Reflexion auf der Hinterfläche des Spiegels ss. Bei der photometrischen Vergleichung der Sterne wird nur von dem durch Reflexion auf der Vorderfläche entstandenen Bilde Gebrauch gemacht.

Wenn nun die Helligkeit zweier Sterne mit einander verglichen werden soll, so wird das Fernrohr zunächst auf den einen, α, gerichtet, und dann das Nicol p sammt seiner Fassung und dem Nonius d so weit

gedreht, bis der künstliche Stern dem zu beobachtenden an Helligkeit gerade gleich ist; alsdann wird der Nonius abgelesen, wodurch man erfährt, wie gross der Winkel v ist, um welchen man das Nicol p aus seiner Anfangsposition gedreht hat.

Hierauf wird dieselbe Beobachtung an einem zweiten Stern, β, gemacht. Wir wollen mit v' den Winkel bezeichnen, um welchen man das Nicol p aus seiner Anfangsposition drehen musste, um den künstlichen Stern diesem zweiten Sterne β gleich zu machen. Nach diesen beiden Ablesungen ergiebt sich nun, dass die Helligkeit der beiden Sterne α und β sich verhält wie die Quadrate der Sinus von v und v'.

Nimmt man also die Helligkeit eines der beiden Sterne, etwa die des Sternes α, zur Einheit, so ist also die Helligkeit des Sternes β gleich

$$\frac{(sin\, v')^2}{(sin\, v)^2}.$$

Bei einer derartigen Messung ergab sich z. B. für δ Coronae $v = 11{,}3^0$, für α Coronae ergab sich $v' = 30{,}9^0$; demnach ist die Helligkeit von α Coronae gleich

$$\frac{(sin\, 30{,}9)^2}{(sin\, 11{,}3)^2} = \frac{0{,}5135^2}{0{,}1959^2} = 6{,}871.$$

Bei einer zweiten Vergleichung derselben Sterne ergab sich für δ Coronae $v = 11{,}1^0$ und für α Coronae $v' = 31^0$, was für die Helligkeit von α Coronae den Werth

$$7{,}199$$

ergiebt. Im Mittel ist also die Helligkeit von α Coronae gleich 7,035, wenn man die Helligkeit des Sternes δ Coronae gleich 1 setzt.

Eine wesentliche Vervollkommnung hat das Zöllner'sche Photometer durch die Verbindung mit dem §. 133 erwähnten Colorimeter erhalten.

Bestimmung des Durchmessers der kleinen Planeten. 130
Stampfer hat den Versuch gemacht, aus der Helligkeit der kleinen Planeten ihren wahren Durchmesser abzuleiten. Er benutzte hierzu photometrische Beobachtungen Steinheil's, nach welchen sich die Lichtmengen, welche die Sterne verschiedener Grössenclassen zur Erde senden, im Durchschnitt wie folgt verhalten:

Sterne	sechster	Grösse	10
„	fünfter	„	28
„	vierter	„	80
„	dritter	„	227
„	zweiter	„	642
„	erster	„	1819,

wonach also die Lichtmenge, welche uns ein Stern irgend einer Grössenclasse zusendet, im Durchschnitt $\frac{1}{2{,}83}$mal geringer wäre als die Lichtmenge, welche von einem Stern der nächst höheren Classe zu uns gelangt.

Dieses Resultat, welches etwas von dem früher §. 129 erwähnten abweicht, ist aus der Beobachtung von 26 Sternen erster bis fünfter Grösse abgeleitet. Aus Gründen, die wir hier nicht erläutern können, reducirt Stampfer den obigen Factor, welchen wir kurz mit $\frac{1}{a}$ bezeichnen wollen, noch auf $\frac{1}{2,519}$. Bezeichnen wir also die Lichtstärke eines mittleren Sternes erster Grösse mit 1, so wäre danach die Lichtstärke der Sterne

	2ter	3ter	4ter	5ter ...	*n*ter Grösse.
gleich	$\frac{1}{2,519}$	$\frac{1}{(2,519)^2}$	$\frac{1}{(2,519)^3}$	$\frac{1}{(2,519)^4}$ ...	$\frac{1}{(2,519)^{n-1}}$

Olbers schätzte im Jahre 1803 die Lichtstärke des Saturn, dessen Ring damals gerade verschwunden war, zur Zeit der Opposition gleich der von α Canis minoris, eines Sternes, welcher unter den Sternen erster Grösse nahezu die mittlere Helligkeit hat.

Sind r und ϱ die Entfernungen eines Planeten von der Sonne und von der Erde zur Zeit der Opposition, d sein wirklicher Durchmesser, so wird seine Lichtstärke oder seine Helligkeit H ausgedrückt durch

$$H = A \frac{d^2}{r^2 \varrho^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

wo A ein constanter Factor ist, welcher von der Fähigkeit des Planeten, die Sonnenstrahlen zu reflectiren, abhängt.

Aus einer Vergleichung der Lichtstärke und des scheinbaren Durchmessers der Planeten Jupiter, Saturn und Uranus hat sich ergeben, dass dieselben nahezu gleiches Vermögen besitzen, die Sonnenstrahlen zu reflectiren oder mit anderen Worten, dass der Factor A für diese drei Planeten nahezu gleichen Werth hat. Für den Mars ist der Werth von A kleiner.

Nehmen wir nun an, dass das Reflexionsvermögen der kleinen Planeten dem des Jupiter und Saturn gleich ist, dass also der Factor A für sie denselben Werth habe wie für Saturn, so haben wir für einen solchen kleinen Planeten

$$H_1 = A \frac{d_1^2}{r_1^2 \varrho_1^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

wenn H_1 die Helligkeit eines der kleinen Planeten, d_1 seinen Durchmesser, r_1 seinen mittleren Abstand von der Sonne und ϱ_1 seine Entfernung von der Erde zur Zeit seiner Opposition bezeichnet.

Nehmen wir die Lichtstärke des Saturn zur Zeit der Opposition zur Einheit, so geht Gleichung 1) über in

$$1 = A \frac{d^2}{r^2 \varrho^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Wenn einer der kleinen Planeten zur Zeit der Opposition als ein Stern $n$ter Grösse erscheint, so ist für ihn

$$\frac{1}{a^{n-1}} = A \frac{d_1^2}{r_1^2 \varrho_1^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

aus der Combination der Gleichungen 3) und 4) ergiebt sich aber

$$d_1 = \frac{d . r_1 . \varrho_1}{r . \varrho . \sqrt{a^{n-1}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Sind nun, wie es wirklich der Fall ist, alle übrigen Grössen dieser Gleichung bekannt, so lässt sich nach derselben d_1, d. h. der Durchmesser des kleinen Planeten, berechnen.

Für Saturn ist

$d =$ 16 305 geographische Meilen,
$r =$ 9,393 Erdweiten,
$\varrho =$ 8,393 „

Für die kleinen Planeten ist im Mittel

$r_1 =$ 2,54 Erdweiten,
$\varrho_1 =$ 1,54 „

Der Werth von a ist, wie oben erwähnt wurde, gleich 2,519. Setzt man diese Zahlenwerthe in Gleichung 5), so ergiebt sich für einen kleinen Planeten, welcher zur Zeit der Opposition als ein Stern siebenter Grösse erscheint,

$$d_1 = \frac{16\,305 . 2{,}54 . 1{,}54}{9{,}393 . 8{,}393 \sqrt{2{,}519^6}} = 47{,}5 \text{ geogr. Meilen.}$$

In gleicher Weise ergeben sich für Asteroiden, welche zur Zeit der Opposition als Sterne der Grössenclasse erscheinen, welche in der ersten Verticalreihe der folgenden Tabelle eingetragen ist, die nebenbei stehenden Werthe des wahren Durchmessers

Grössen-classe	Wahrer Durchmesser	Scheinbarer Durchmesser
7	47,5 geogr. Meilen	0,308 Secunden
8	29,7 „ „	0,192 „
9	18,5 „ „	0,120 „
10	11,6 „ „	0,075 „
11	7,2 „ „	0,047 „
12	4,5 „ „	0,030 „

Bei Berechnung dieser Tabelle ist der mittlere Abstand der kleinen Planeten von der Sonne für alle als gleich angenommen, was nur für eine erste rohe Annäherung angenommen werden kann. Wenn es sich um irgend einen bestimmten handelt, so sind die ihm entsprechenden Werthe von r_1 und ϱ_1 in Rechnung zu bringen. Für Ceres, welche zur Oppositionszeit als ein Stern achter Grösse erscheint, z. B. ist $r_1 = 2{,}77$, $\varrho_1 = 1{,}77$, woraus sich ergiebt

$$\frac{16\,000 . 2{,}77 . 1{,}77}{9{,}393 . 8{,}393 \sqrt{2{,}519^7}} = 39 \text{ geogr. Meilen.}$$

Für Pallas ergiebt sich auf diese Weise ein Durchmesser von 30 geographischen Meilen.

Victoria erscheint als ein Stern zehnter Grösse; für sie ist $r_1 = 2{,}33$, $\varrho_1 = 1{,}33$, und danach ergiebt sich für dieselbe

$$d_1 = 9{,}8 \text{ geographische Meilen.}$$

Uranus erscheint zur Zeit der Opposition als ein Stern von gut sechster Grösse, wir können für ihn also $n = 5{,}8$ setzen; ferner ist für ihn $r_1 = 19{,}18$, $\varrho_1 = 18{,}18$, wonach sich nach Gleichung 5) ergiebt

$$d_1 = 5688 \text{ geogr. Meilen,}$$

während sich aus der Messung des scheinbaren Durchmessers (4,12 Secunden) ein Durchmesser von 7396 geographischen Meilen für Uranus ergiebt.

Uebrigens ist die von Stampfer gemachte Voraussetzung über das gleiche Reflexionsvermögen der Planeten keineswegs zutreffend. Die kleinen Planeten zeigen nämlich vielfach einen deutlich ausgeprägten Lichtwechsel, welcher schon früh zu der Annahme geführt hat, dass sie entweder mit dunklen Flecken versehen sind, oder zum Theil unregelmässige Gestalten haben, die von der Kugelgestalt stark abweichen. Genaue photometrische Untersuchungen, welche G. Müller in Potsdam ausgeführt hat, haben gezeigt, dass die Helligkeitsänderungen der kleinen Planeten im Zusammenhange mit ihren Phasen stehen, dass aber der Einfluss der Phase nicht bei allen kleinen Planeten der gleiche ist, dass auch auf die Helligkeitsänderungen das Lambert'sche Phasengesetz nicht anwendbar ist. Lambert hat nämlich schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts eine Formel für die von einer theilweise erleuchteten Kugel reflectirte Lichtmenge abgeleitet, welche das von der Venus ausgestrahlte Licht gut darstellt, dagegen beim Monde, dem Mars und überhaupt wohl bei allen Körpern mit sehr rauher Oberfläche nicht zutrifft. Die kleinen Planeten verhalten sich in dieser Beziehung verschieden, woraus geschlossen werden kann, dass die Beschaffenheit ihrer Oberfiäche nicht die gleiche ist.

131 **Veränderliche Sterne.** Der erste Stern, an welchem ein regelmässiger Wechsel der Lichtstärke beobachtet wurde, ist o Ceti. David Fabricius hatte ihn am 12. August 1596 als einen Stern zweiter Grösse beobachtet und im October desselben Jahres verschwinden sehen; die periodische Veränderlichkeit dieses Sternes entdeckte aber Holwarda, Professor zu Franeker, im Jahre 1639.

Der fragliche Stern, welcher dieser merkwürdigen Erscheinung wegen auch Mira Ceti genannt wurde, erreicht im Maximum den Glanz eines Sternes zweiter Grösse; seine Helligkeit nimmt aber dann wieder so ab, dass er für das blosse Auge vollständig verschwindet. Mit Fernrohren ist er zur Zeit seines Lichtminimum's schon als ein Stern elfter bis zwölfter Grösse beobachtet worden, so dass es nicht ganz ausgemacht

ist, ob er immer ganz verschwindet. Das Maximum seines Lichtglanzes erreicht ebenfalls nicht immer dieselbe Grösse; während er manchmal, wie bereits bemerkt wurde, die Helligkeit eines Sternes zweiter Grösse erreicht, wird er bisweilen auch zur Zeit seines Maximums nur noch einem Sterne fünfter Grösse gleich.

Die Periode, in welcher Mira Ceti den ganzen Cyclus der erwähnten Veränderungen durchläuft, dauert 331 Tage. Im Mittel dauert die Zeit der Lichtzunahme von der sechsten Grösse bis zum Maximum 50 Tage, die der Lichtabnahme vom Maximum bis zur sechsten Grösse 69 Tage, so dass der Stern ungefähr vier Monate mit blossen Augen sichtbar bleibt. Zuweilen hat diese Sichtbarkeit sich auf fünf Monate gesteigert, während sie zu anderen Zeiten nur drei Monate gewesen ist. Ebenso ist auch die Dauer der Zu- und Abnahme des Lichtes grossen Schwankungen unterworfen.

Im Jahre 1669 erkannte Montanari die Veränderlichkeit des Sternes β Persei (Algol am Medusenhaupte), der unter den veränderlichen Sternen eine der kürzesten Perioden zeigt; denn diese beträgt nur 2 Tage 20 Stunden 49 Minuten, also nahezu 69 Stunden. 62 Stunden dieser Periode ist er Stern zweiter Grösse, etwa $3^1/_2$ Stunden braucht er, um zur vierten Grösse abzunehmen und ungefähr ebenso viel Zeit, um seinen gewöhnlichen Glanz wieder zu erlangen.

Diese eigenthümliche Art des Lichtwechsels lässt kaum eine andere Erklärung zu, als dass durch irgend eine undurchsichtige Masse das Licht theilweise verdeckt wird, seien es nun dunkle Flecken auf dem Sterne, die bei der Rotation desselben um seine Axe uns periodisch zugekehrt werden, sei es ein dunkler Körper, der um den Stern rotirt. Von dem Amerikaner Pickering ist diese letzte Ansicht vertreten worden, und er hat auch einen Versuch gemacht, die Elemente des Satelliten zu ermitteln.

Wenn nämlich ein kugelförmiger, dunkler Körper vor einen hellen tritt, so sind, wie bei den Sonnenfinsternissen, drei Arten der Bedeckungen möglich. Erstens kann die Bedeckung, entsprechend einer totalen Finsterniss, derartig sein, dass das Licht des hellen Körpers, wenigstens für kurze Zeit, ganz verschwindet. Dies ist nun thatsächlich bei Algol nicht der Fall. Zweitens kann die Finsterniss eine ringförmige sein, dann wird die Helligkeit bis zu einem gewissen Minimum abnehmen, darauf eine Zeit lang constant sein und schliesslich wieder zunehmen. Drittens kann aber die Bedeckung eine partiale sein; in diesem Falle wird das Licht verdunkelt bis zu einem Minimum, und dann sofort heller werden. Aus den sehr vielen Beobachtungen des Algol geht nun hervor, dass der dritte Fall hier zutrifft. Pickering hat nun versucht, das Verhältniss der Durchmesser der beiden Körper zu ermitteln. Es ist ziemlich festgestellt, dass bei der grössten Dunkelheit die Lichtstärke des Algol 0,416 der normalen Helligkeit ist; es muss also der Begleiter 0,584 der Helligkeit auffangen. Wir können nun leicht bestimmen, wie

gross mindestens der Durchmesser des Begleiters im Verhältniss zu dem des Hauptsternes ist. Wenn nämlich eine innere Berührung der Ränder stattfindet (Fig. 198), und gleichzeitig der dunkle Stern 0,584 der Helligkeit des Hauptsternes auffängt, dann verhalten sich die Durchmesser der beiden Sterne wie $1 : \sqrt{0,584} = 1 : 0,764$. Kleiner als 0,764 kann demnach der Durchmesser des Satelliten nicht sein, wohl aber könnte er erheblich grösser sein (Fig. 199). Nun wird aber die Schnelligkeit der Ab- und Zunahme des Lichtes von der relativen Grösse der Durchmesser abhängen, und mit Berücksichtigung hiervon fand Pickering, dass

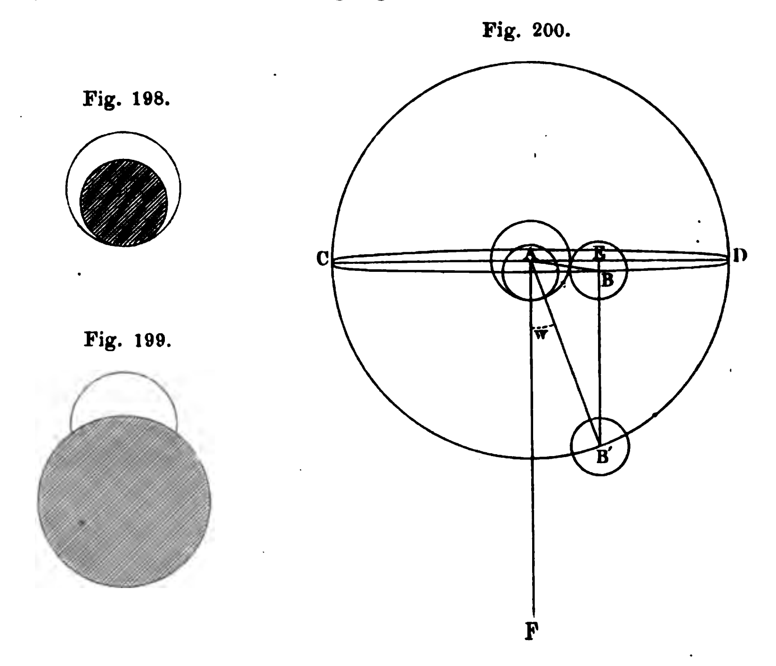


Fig. 198.

Fig. 199.

Fig. 200.

nahezu eine innere Berührung, wie sie in Fig. 198 angedeutet ist, stattfinden müsse.

Ist das Verhältniss der Durchmesser aber bekannt, so lassen sich auch andere Elemente finden. Zunächst ergiebt sich die Umlaufszeit direct aus der Periode; dieselbe scheint allerdings nicht ganz gleichmässig zu sein, ist aber im Mittel nahezu 2 Tage 20 Stunden 48,9 Minuten.

Es sei nun A (Fig. 200) der Mittelpunkt des Hauptsternes, B der des Begleiters in dem Moment, wo die Verdunkelung des Lichtes beginnt, CDB die Bahn des Begleiters, wie sie für einen Beobachter auf der Erde sich an der Himmelskugel projicirt. Die wahre Bahn wollen wir der Einfachheit wegen als kreisförmig annehmen. Wir denken uns von B aus auf die grosse Axe CD der scheinbaren Bahn ein Loth BE gefällt, und setzen $AE = x$, $EB = y$. Jetzt wollen wir uns die wahre

Bahn soweit um die Linie CD gedreht denken, dass sie mit der Ebene des Papiers zusammenfällt und durch den Kreis CDB' dargestellt wird; dann wird B nach B' kommen, so dass EB' senkrecht auf CD steht.

Es werde nun die Richtung von dem Hauptstern nach dem Begleiter in der wahren Bahn mit w bezeichnet, und von derjenigen Richtung aus gerechnet, in welcher sich der Begleiter zu der Zeit befindet, wenn das Minimum des Lichtes stattfindet. Diese letztere Richtung würde in unserer Figur der Richtung der Linie AF entsprechen, wo $AF \perp CD$ ist, und es ist demnach der Winkel $FAB' = w$; ferner wollen wir die halbe grosse Axe AD der scheinbaren Bahn mit a und ihre halbe kleine Axe mit b bezeichnen. Wir haben dann

$$\begin{aligned} AE = x &= AB' \cos (90^0 - w) \\ &= a \sin w. \end{aligned}$$

Ferner ist

$$\begin{aligned} EB' &= AB' \sin (90^0 - w) \\ &= a \cos w. \end{aligned}$$

Nach einem bekannten Satze verhält sich aber EB' zu EB wie a zu b, also ist

$$a \cos w : y = a : b,$$

und

$$y = b \cos w.$$

Wir verbinden nun A mit B und setzen $AB = D$, dann ist $D^2 = x^2 + y^2$. Es ist aber auch D gleich der Summe der Halbmesser der beiden Gestirne, und setzen wir den Halbmesser des Hauptsternes $= 1$, so ist, wie oben gezeigt, der Halbmesser des Begleiters $= 0{,}764$, folglich wird

$$\begin{aligned} (1{,}764)^2 &= x^2 + y^2 \\ &= a^2 \sin w^2 + b^2 \cos w^2 \quad . \; . \; . \quad (1) \end{aligned}$$

w ist aber der Bogen, den der Begleiter in seiner Bahn während der Zeit beschreibt, welche zwischen der ersten Abnahme des Lichtes und der grössten Verdunkelung verfliesst; diese Zeit hat sich aus den Beobachtungen zu 4 Stunden und 35 Minuten ergeben. Die Zeit eines ganzen Umlaufes ist durch die Periode des Lichtwechsels gegeben, und diese beträgt, wie oben erwähnt, 2 Tage 20 Stunden 48,9 Minuten. Wir haben also das Verhältniss:

$$360^0 : w = 2^t\, 20^h\, 48{,}9^m : 4^h\, 35^m,$$

oder:

$$\begin{aligned} w &= \frac{360 \times 4^h\, 35^m}{68^h\, 48{,}9^m} \\ &= 24{,}0^0. \end{aligned}$$

Danach geht die Gleichung (1) in folgende über:

$$(1{,}764)^2 = 3{,}112 = 0{,}165\, a^2 + 0{,}835\, b^2.$$

Die Grösse b, oder die halbe kleine Axe der scheinbaren Bahn können wir aber leicht bestimmen; sie ist nämlich gleich der Entfernung

der Mittelpunkte der beiden Gestirne zur Zeit ihrer scheinbaren inneren Berührung, oder

$$= 1 - 0{,}764$$
$$= 0{,}236.$$

Also erhalten wir die Gleichung:

$$3{,}112 = 0{,}165\,a^2 + 0{,}835\,(0{,}236)^2$$
$$= 0{,}165\,a^2 + 0{,}047$$
$$a^2 = \frac{3{,}065}{0{,}165}$$
$$a = 4{,}310,$$

während wir fanden:

$$b = 0{,}236.$$

Die Einheit ist hier also der Halbmesser des Hauptsternes. Als weiteres Element lässt sich noch die Neigung der Bahnebene gegen eine auf der Gesichtslinie senkrechte Ebene ermitteln. Denn denken wir uns die wahre Bahn CDB' (Fig. 194) wieder um die Axe CD und zwar um einen Winkel J gedreht, so wird in der auf die ursprüngliche Ebene projicirten Bahn CDB der Abstand eines jeden Punktes von der Axe CD im Verhältniss des Cosinus des Winkels J verkürzt erscheinen. So ist z. B. $EB = EB' \cos J$ und also auch die halbe kleine Axe $b = a.\cos J$. Daher erhalten wir:

$$\cos J = \frac{b}{a},$$

und da b und a gegeben sind, so lässt sich hieraus J finden. Wir erhalten in unserem Beispiele also:

$$\cos J = \frac{0{,}236}{4{,}310},$$

und daraus:

$$J = 86^0\,52'.$$

Gegen die Annahme einer kreisförmigen Bahn scheint der Umstand zu sprechen, dass die Dauer der Zunahme des Lichtes der Dauer der Abnahme nicht völlig gleich ist, woraus man auf eine ungleichförmige Bewegung des Satelliten in seiner Bahn schliessen könnte, indessen haben Versuche von Pickering, eine elliptische Bahn zu ermitteln, die den Beobachtungen besser genügt, zu keinem besonders günstigen Resultate geführt. In der That lässt sich die beobachtete Ungleichförmigkeit auch auf andere Weise erklären, z. B. durch die Annahme, dass der Satellit keine kugelförmige, sondern eine unregelmässige Gestalt hat.

Wir dürfen nun nicht annehmen, dass der Hauptstern im Raume unbeweglich ist und der Begleiter um ihn eine Bahn beschreibt, sondern beide Gestirne müssen Bahnen um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt beschreiben. In der obigen Rechnung konnten wir allerdings alle Be-

wegungen des Sternsystemes auf den Hauptstern beziehen, den wir dabei als unbeweglich annahmen; wir erhielten dadurch die relative Bewegung des Begleiters gegen den Hauptstern und eine Bahn, welche der wahren Bahn eines jeden der Componenten ähnlich und nur an Grösse von ihr verschieden ist. So wird also auch der sichtbare Hauptstern in $2^t\,20^h\,49^m$ eine Kreisbahn um den gemeinschaftlichen Schwerpunkt beschreiben, und man könnte fragen, ob diese Bewegung nicht durch genaue Messinstrumente nachzuweisen ist?

Versuche, welche in dieser Richtung gemacht sind, haben zu keinem Ziele geführt, und es lässt sich auch zeigen, dass wahrscheinlich die scheinbare Bewegung des Sternes zu klein ist, als dass sie gemessen werden könnte. Nehmen wir an, dass der scheinbare Durchmesser Algols zu klein ist, um im Fernrohr wahrnehmbar zu sein, dass Algol dieselbe Leuchtkraft habe, wie ein Theil der Sonne von der gleichen scheinbaren Oberfläche, so finden wir, dass der Durchmesser Algols nur 0,006″ beträgt, woraus sich die halbe grosse Axe der scheinbaren Bahn zu 0,026″ ergiebt. Nehmen wir nun ferner an, dass der Hauptstern und der Begleiter die gleiche Dichtigkeit haben, so werden sich ihre Massen verhalten wie die Volumina oder wie die Cuben der Halbmesser. Letztere verhalten sich aber wie 1 : 0,764, also verhalten sich die Massen wie $1 : (0,764)^3$ oder wie 1 : 0,446. Daraus ergiebt sich die Entfernung des Hauptsternes vom Schwerpunkte zu 0,008″, und die des Begleiters zu 0,018″. Der sichtbare Stern beschreibt demnach eine Kreisbahn von 0,008″ Radius, und eine so geringe Bewegung, die innerhalb weniger Stunden eintritt, lässt sich nicht mit Sicherheit nachweisen. Von einer anderen Methode, die Bewegung des Sternes zu messen, welche mehr Sicherheit bietet, wird weiter unten die Rede sein.

Sterne von der Art des Lichtwechsels von Algol sind bis jetzt folgende neun bekannt:

Stern	Rectasc. 1900,0	Decl. 1900,0	Periode	Grösse Max.	Grösse Min.
U Ophiuchis	17^h $11,5^m$	+ $1^0 19'$	0^t 20^h 7^m 42^s	6,0	6,7
R Can. maj.	7 14,9	— 16 12	1 3 15 55	5,9	6,7
Y Cygni	20 48,0	+ 34 17	1 11 56 48	7,1	7,9
δ Librae	14 55,6	— 8 7	2 7 51 23	5,0	6,2
U Cephei	0 53,4	+ 81 20	2 11 49 45	7,1	9,2
β Persei	3 1,6	+ 40 34	2 20 48 55	2,3	3,5
U Coronae	15 14,1	+ 32 1	3 10 51 9	7,5	8,9
λ Tauri	3 55,1	+ 12 12	3 22 52 12	3,4	4,2
S Cancri	8 38,2	+ 19 24	9 11 37 45	8,2	9,8

Von anderen Veränderlichen mögen folgende erwähnt werden:

χ Cygni, zuerst im Jahre 1686 von Kirch als veränderlich erkannt, mit einer Periode von im Mittel 406 Tagen, die aber starken Schwankungen unterworfen ist. Die Helligkeit schwankt zwischen der vierten und dreizehnten Grösse; die Farbe des Sternes ist sehr intensiv roth, und sein Lichtwechsel wird am einfachsten durch dunkle Flecken, etwa Schlackenbildungen, von unregelmässiger und wechselnder Gestalt erklärt, verbunden mit einer Rotation des Sternes um seine Axe.

R Hydrae, von Hevel 1662 wahrscheinlich als sechster Grösse, von Montanari 1670 als vierter Grösse beobachtet, und 1704 von Maraldi als veränderlich erkannt. Die Helligkeit beträgt im Maximum $4^1/_2$ bis $5^1/_2$ Grösse, im Minimum etwa zehnte Grösse. Seine Periode ist ziemlich unregelmässig und nimmt deutlich ab. Sie betrug:

1708	500 Tage,
1785	487 „
1825	461 „
1870	437 „

Unter den anderen im vorigen Jahrhundert als veränderlich erkannten Sternen ist einer der merkwürdigsten β Lyrae. Dieser Stern hat in seiner Periode von 12 Tagen und 22 Stunden zwei deutliche Maxima und zwei Minima. In dem einen Minimum hat er die Helligkeit 4,5, dann folgt ein Maximum von 3,4. Grösse nach 3 Tagen 2 Stunden, dann folgt wieder ein Minimum von der 3,9. Grösse nach 3 Tagen 8 Stunden, und diesem wieder ein Maximum der 3,4. Grösse nach 3 Tagen 3 Stunden. Die Perioden sind übrigens etwas veränderlich.

Einer der merkwürdigsten Veränderlichen ist der auf der südlichen Halbkugel befindliche Stern η Argus. Halley hatte diesen Stern im Jahre 1677 vierter Grösse geschätzt. Lacaille schätzte ihn 1751 zweiter Grösse, und Burchell 1811 bis 1815 wieder vierter Grösse. In den Jahren 1822 bis 1826 wurde er von Fallows und Brisbane (Astronomen am Cap) wieder zweiter Grösse geschätzt, und im Februar 1827 von Burchell erster Grösse, gleich dem Sterne α im südlichen Kreuz. Ein Jahr später, im Februar 1828, war er zweiter Grösse und blieb so etwa bis 1833. Zwischen 1834 und 1837 wurde er von Herschel zwischen der zweiten und ersten Grösse taxirt. Am 16. December 1837 sah Herschel den Stern plötzlich sehr viel heller, und an Helligkeit alle Sterne erster Grösse, ausser Sirius und Canopus, übertreffend; sehr nahe dem Sterne α Centauri. Er nahm noch etwas an Helligkeit zu, bis er am 2. Januar 1838 das Maximum erreichte; dann nahm er fünf Jahre lang sehr langsam an Helligkeit ab, blieb aber immer erster Grösse. Im April 1843 wurde er wieder viel heller, übertraf den Canopus und wurde dem Sirius nahezu gleich. In dieser Helligkeit blieb er sieben Jahre hindurch; dann nahm die Helligkeit beträchtlich ab, 1863 war er fünfter Grösse, jetzt ist er siebenter Grösse.

Man hat in neuerer Zeit die veränderlichen Sterne in fünf Classen eingetheilt, und zwar:

1. Sterne vom Typus des Algol.

2. Sterne wie o Ceti, η Argus u. a., mit Perioden zwischen sechs Monaten bis zu mehreren Jahren, deren Helligkeit in den verschiedenen Perioden häufig sehr ungleich ist, und bei denen zu Zeiten die Helligkeit einige hundertmal grösser ist als zu anderen.

3. Sterne von schwachem Lichtwechsel ohne erkennbare Periode. Zu diesen gehören α Orionis und α Cassiopejae, ausserdem sehr viele, vielleicht die meisten Sterne.

4. Sterne von raschem Lichtwechsel, welche mehr als ein Maximum und Minimum haben (β Lyrae).

5. Temporäre Sterne, von denen das folgende Capitel handeln wird.

Temporäre Sterne. Manchmal erscheinen plötzlich neue Sterne am Himmel, welche kurze Zeit glänzen, um alsbald wieder zu verschwinden. 132

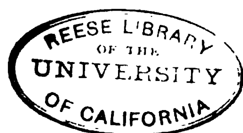
So berichtet Plinius, dass Hipparch das Aufleuchten eines hellen Sternes beobachtet habe und hierdurch veranlasst worden sei, einen Sternkatalog anzufertigen, damit ähnliche Erscheinungen in Zukunft leichter bemerkt würden. Nach den Chinesischen Annalen sind in früheren Zeiten öfter Sterne aufgeleuchtet, so einer im Jahre 134 v. Chr. (vielleicht mit dem Hipparch'schen identisch) im Sternbilde des Skorpion, ein anderer im Jahre 123 n. Chr. zwischen α Herculis und α Ophiuchi, ferner 173 n. Chr. im Centauren, 369 und 386 im Schützen, 393 und 1203 im Skorpion, 1230 zwischen dem Ophiuchus und der Schlange.

Ferner haben wir folgende Nachrichten über neu erschienene Sterne:

Im Jahre 389 erschien nach dem Zeugniss des Cuspinianus ein neuer Stern nahe bei α Aquilae, welcher mit der Helligkeit der Venus aufloderte und nach drei Wochen spurlos verschwand.

Einer der merkwürdigsten unter den temporären Sternen ist der vom Jahre 1572, welchen Tycho Brahe sorgfältig beobachtet hat. Er erschien im November im Sternbilde der Cassiopeja, und erreichte in der ersten Zeit die Helligkeit der Venus in ihrem grössten Glanze, so dass er selbst um Mittag bei klarer Luft gesehen werden konnte. Im December 1572 begann sein Glanz abzunehmen und er verschwand endlich im März 1574, 16 Monate nach seinem ersten Erscheinen. Anfangs blendend weiss, wurde er im März 1573 röthlich und im Januar 1574 wieder weiss.

Ein böhmischer Astronom, Cyprianus Leovitius, versichert, in einer handschriftlichen Chronik die Nachricht gefunden zu haben, dass im Jahre 945 sowohl als auch im Jahre 1264 zwischen den Constellationen des Cepheus und der Cassiopeja ganz nahe der Milchstrasse ein glänzender Stern erschienen sei; darauf gründete sich nun die Ansicht einiger Astronomen, dass der schöne Stern ein periodischer sei und



dass seine Periode 313 Jahre betrage. Wäre diese Ansicht richtig gewesen, so hätte der Stern etwa im Jahre 1886 wieder erscheinen müssen. Aber abgesehen von der geringen Zuverlässigkeit der Nachricht des Leovitius ist es sehr unwahrscheinlich, dass ein Stern eine so grosse und dabei regelmässige Periode seines Lichtwechsels hat.

Im Jahre 1604 erschien ein neuer Stern im Ophiuchus, welcher den Jupiter an Helligkeit übertraf, aber dem Sterne von 1572 nicht ganz gleich kam und auch nicht bei Tage gesehen werden konnte. Dieser Stern wurde besonders von Kepler beobachtet. Er erschien im September oder October 1604. Zu Anfang des Januar 1605 war er noch heller als Antares, aber weniger hell als Arcturus; im März dieses Jahres war er nur noch dritter Grösse. Vier Monate lang konnte er wegen der Nähe der Sonne nicht beobachtet werden. Im März 1606 verschwand er spurlos.

Im Jahre 1848 beobachtete Hind einen neuen Stern sechster Grösse gleichfalls im Ophiuchus. Im Jahre 1850 war er nur noch 11. Grösse und wahrscheinlich dem Verschwinden nahe; jetzt hat er nur noch die 13. Grösse.

Im Mai 1866 erschien im Sternbilde der nördlichen Krone plötzlich ein Stern zweiter Grösse, dessen Helligkeit sehr rasch abnahm, so dass er bereits nach acht Tagen nicht mehr mit freiem Auge wahrgenommen werden konnte. Er ist identisch mit einem bereits früher beobachteten Sterne der $9^1/_2$. Grösse, und seine Helligkeit ist allmählich wieder auf diesen Betrag zurückgegangen.

Eine ähnliche Erscheinung fand im November 1876 im Sternbilde des Schwans statt. Dort wurde plötzlich ein Stern dritter Grösse bemerkt an einer Stelle, wo früher kein Stern heller als von der neunten Grösse gewesen war. Auch dieser Stern wurde rasch schwächer und hat jetzt nur noch die $13^1/_2$. Grösse.

Ausser den erwähnten haben noch einige weniger glänzende Erscheinungen neuer Sterne stattgefunden, die aber alle einen ähnlichen Charakter, rasches Aufleuchten und allmähliche Abnahme des Lichtes, zeigen. Im Ganzen gehört aber das Aufleuchten der temporären Sterne zu den selteneren Ereignissen, und in den letzten 2000 Jahren können deren kaum mehr als 30 mit einiger Sicherheit aufgeführt werden.

133 **Farbige Sterne.** Ptolemäus führt in seinem Fixsternkatalog sechs röthliche Sterne an, nämlich Arcturus, Aldebaran, Pollux, Antares, Beteigeuze und Sirius. Von diesen haben fünf noch jetzt ein röthliches Licht, während Sirius gegenwärtig vollkommen weiss ist.

Entschieden weiss sind, ausser Sirius, unter den helleren Sternen gegenwärtig Wega, Deneb, Regulus und Spica. Gelbliches Licht haben Procyon, Atair, der Polarstern und besonders β Ursae minoris.

Unter den teleskopischen Sternen finden sich viele rothe. Von ihnen ist besonders zu erwähnen der veränderliche Herschel'sche

Garnet star (Granatstern), μ Cephei (Rect. $11^h 40,4^m$, Decl. $+ 58^0 19'$), ferner der ebenfalls veränderliche Crimson star (Carmoisinstern) Hind's, R. Leporis (Rect. $4^h 55,0^m$, Decl. $- 14^0 57'$), sowie ein Stern des südlichen Himmels nahe bei β Crucis, den Herschel mit einem Blutstropfen verglich. Ueberhaupt herrscht unter den veränderlichen Sternen die rothe Farbe sehr vor, woraus man schliessen kann, dass in sehr vielen Fällen die Veränderlichkeit durch fortgeschrittene Abkühlung der Oberfläche des Sternes und damit im Zusammenhange stehende Schlackenbildung bewirkt wird. Schjellerup veröffentlichte zuerst ein Verzeichniss rother Sterne, welches allmählich vervollständigt ist; ein sehr vollständiger Katalog rother Sterne ist von Birmingham zusammengestellt.

Auch unter den Doppelsternen findet man viele farbige, und zwar sind bald die beiden Sterne gleichfarbig, bald haben sie verschiedene Farben.

So sind z. B. die beiden Sterne von γ Virginis (3^m und 3^m) gelblich, von ρ Herculis (4^m und 5^m) grünlich, von ζ Ursae majoris (2^m und 4^m) mattgrün u. s. w.

Bei vielen anderen Doppelsternen zeigt sich dagegen eine merkliche Verschiedenheit der Farbe. So ist z. B. bei α Ursae minoris der Hauptstern gelb, der Begleiter weiss; bei α Piscium der grössere (3^m) grünlich, der kleinere (4^m) blau; bei ζ Orionis der Hauptstern (2^m) gelb, der Nebenstern (6^m) rothgelb; bei γ Leonis ist der Hauptstern (2^m) goldgelb, der kleinere ($3,5^m$) röthlich; bei ε Bootis ist der Hauptstern (3^m) roth, der Begleiter (6^m) blau u. s. w.

Ein schöner dreifacher Stern ist γ Andromedae; der Hauptstern (3^m) ist goldgelb, die beiden kaum $^1/_2$ Secunde von einander entfernten Begleiter sind bläulichviolett.

In vielen Fällen zeigen sich die Componenten der Doppelsterne in complementären Farben, und mag dies wohl häufig nur eine subjective Erscheinung sein, die auf einer Contrastwirkung beruht.

Zöllner hat an seinem bereits auf S. 355 besprochenen Astrophotometer noch eine weitere Vorrichtung angebracht, welche dazu dient, den künstlichen Stern beliebig gefärbt erscheinen zu lassen, so dass er auch in Beziehung seiner Farbe dem zu beobachtenden natürlichen Sterne vollkommen gleich gemacht werden kann. Diese Vorrichtung, welche Zöllner Colorimeter nennt, ist in unserer Figur ganz weggelassen, wie denn überhaupt die ganze Partie zwischen r und x, der Kleinheit des Maassstabes wegen nur schematisch dargestellt, keineswegs die Constructions- und Verbindungsweise der einzelnen Theile so wiedergiebt, wie sie an dem Zöllner'schen Instrumente ausgeführt sind.

Das Colorimeter wird durch die Combination des Nicols p mit einer senkrecht zur Axe geschnittenen Bergkrystallplatte und einem dritten Nicol gebildet. Die senkrecht zur Axe geschnittene, 5 mm dicke Quarzplatte ist zunächst rechts von p angebracht und zwar so, dass ihre

Stellung gegen *p* unverändert bleibt; rechts von dieser Quarzplatte befindet sich dann das dritte Nicol. (Natürlich muss der Abstand von *p* bis *x* grösser sein als in unserer Figur, damit die Quarzplatte und das dritte Nicol zwischen *p* und *x* noch Platz finden.)

Wenn das dritte Nicol um seine Axe gedreht wird, während *p* seine Stellung beibehält, so ändert sich die Farbe der Quarzplatte, welche man durch entsprechende Drehung der des natürlichen Sternes gleichmachen kann. Die Drehung des dritten Nicols gegen das Nicol *p* kann an einem besonderen Theilkreise abgelesen werden. Wir müssen uns hier begnügen, Zweck und Construction des Colorimeters nur anzudeuten.

134 **Ansehen der Sterne mit blossem Auge und mit dem Fernrohre betrachtet.** Wenn man die Sterne mit unbewaffnetem Auge betrachtet, so erscheinen sie nicht als einfache helle Punkte, sondern mit divergirenden Strahlen versehen, wodurch das Bild des Sternes eine ziemliche Ausdehnung erhält. Diese Strahlen sind es, welche verhindern, dass man neben Jupiter dessen vier hellere Trabanten noch unterscheiden kann, welche gross und hell genug sind, um als isolirt stehende Sterne ohne Fernrohre sichtbar zu sein.

Dieser Umstand, dass das Bild der Sterne mit blossem Auge betrachtet durch divergirende Strahlen vergrössert erscheint, hat ohne Zweifel seine Quelle im Auge des Beobachters; sphärische Aberration, Diffraction an den Rändern der Pupille oder an den Wimpern, die Ausbreitung des Lichteindruckes auf der Netzhaut von dem unmittelbar gereizten Punkte aus wirken hier zusammen, um die besprochene Erscheinung hervorzubringen. Dass dieselbe subjectiver Natur ist, geht daraus hervor, dass sie bei verschiedenen Personen oft sehr ungleich ist. In Folge der Sternstrahlung schrieben Kepler und Tycho dem Sirius einen Durchmesser von 4′ und 2′ 20″ zu.

Durch Fernrohre wird das Bild der Fixsterne weit reiner, aber immer bleibt ihnen, selbst bei den besten Instrumenten, ein falscher und zwar zu grosser Durchmesser. Dass dieser Durchmesser nicht der wahre Winkeldurchmesser ist, unter welchem uns das Fernrohr den Stern zeigen sollte, geht daraus hervor, dass er bei wachsender Vergrösserung nicht zunimmt, wie der Durchmesser der Planeten. Wenn man einen Doppelstern durch Fernrohre betrachtet, so rücken die beiden Sterne um so weiter von einander weg, je stärker die angewandte Vergrösserung ist, während die Durchmesser der Sterne selbst bei wachsender Vergrösserung eher kleiner werden.

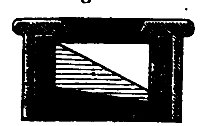
Dass durch Fernrohre Sterne sichtbar werden, welche man mit blossem Auge nicht sehen kann, ist demnach nicht sowohl eine Folge der Vergrösserung, als vielmehr des Umstandes, dass bei grosser Oeffnung des Objectivs eine weit grössere Menge von Lichtstrahlen von dem Sterne ins Auge gelangt, als ohne das Fernrohr durch die Pupillenöffnung eingedrungen sein würde. Die raumdurchdringende Kraft der

Fernrohre, vermöge deren man gewissermaassen weiter in die Himmelsräume vordringen und Sterne erblicken kann, die ohne Fernrohr unsichtbar bleiben, ist also vorzugsweise durch die Grösse der Objectivöffnung bedingt.

Mit einem Fernrohre kann man hellere Fixsterne auch bei Tage sehen; es kommt dies daher, weil durch die Vergrösserung der Himmelshintergrund weniger hell wird, während die Sterne als Punkte nicht vergrössert und also auch nicht lichtschwächer werden. Daher kommt es wesentlich darauf an, um Sterne bei Tage zu sehen, nicht zu schwache Vergrösserungen anzuwenden. Man sieht mit einem kleinen Fernrohre und starker Vergrösserung am Tage die Sterne leichter, als mit einem grossen und lichtstarken Fernrohre, aber schwacher Vergrösserung.

Anwendung des Polariskops zur Prüfung des Lichtes der Gestirne. 135 Um zu prüfen, ob das Licht des im Jahre 1819 erschienenen Kometen polarisirt sei oder nicht, wandte Arago ein achromatisirtes Kalkspathprisma, Fig. 201, an. Wenn man einen Fixstern durch dasselbe betrachtet, so sind die beiden Bilder stets vollkommen gleich, wie man das Prisma auch um seine Axe drehen mag; ein Beweis also, dass das Licht der Fixsterne nicht polarisirt ist. Schaut man dagegen durch das Prisma nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so findet man, das Prisma um seine Axe drehend, bald eine Stellung, bei welcher das eine Bild hell, das andere dunkel ist.

Fig. 201.



Später verbesserte Arago die Vorrichtung dahin, dass er mit dem doppeltbrechenden Prisma ein dünnes Gypsblättchen verband, welches an der dem Auge abgewandten Seite des Primas so befestigt wird, dass die Schwingungsebenen des Gypsblättchens einen Winkel von 45° mit den Schwingungsebenen des Prismas machen. Schaut man nun durch das Prisma und das dünne Gypsblättchen nach einem Körper, welcher polarisirtes Licht aussendet, so erblickt man die beiden Bilder bei gehöriger Stellung des Prismas complementär gefärbt, also je nach der Dicke des Blättchens roth und grün oder blau und gelb u. s. w.

Das so verbesserte Instrument nannte Arago Polariskop.

Nach Arago's Beobachtungen mit dem Polariskop war das Licht des Halley'schen Kometen im Jahre 1835 schwach polarisirt.

Auch das Licht des Donati'schen Kometen (Herbst 1858) soll nach der Behauptung mehrerer Beobachter polarisirt gewesen sein; andere Beobachter haben indessen keine Polarisation bemerken können.

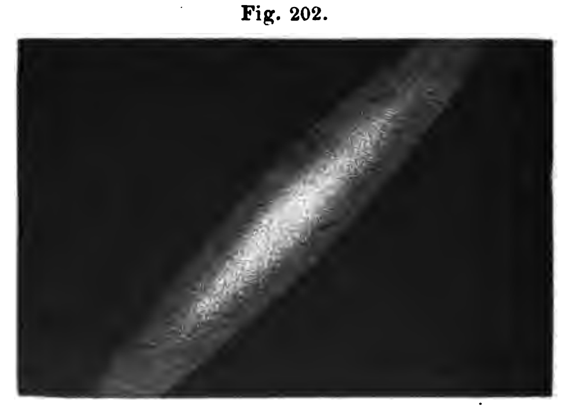
Savart hat das Polariskop dadurch noch verbessert und empfindlicher gemacht, dass er zwei unter einem Winkel von 45° gegen die Axe geschliffene und gekreuzte Quarzplatten an die Stelle des Gypsblättchens setzte. Durch diese Vorrichtung nach irgend einer Lichtquelle hinschauend, beobachtet man für den Fall, dass das Licht polarisirt ist,

eine Reihe geradliniger Farbenstreifen, welche um so brillanter erscheinen, je vollständiger die einfallenden Strahlen polarisirt sind; je unvollständiger dagegen die Polarisation ist, desto matter und schwächer erscheinen die fraglichen Streifen.

Wenn man den Vollmond mit dem Polariskop untersucht, so findet man keine Polarisation des Lichtes, was bei der Richtung, in welcher für diesen Fall das von der Sonne kommende Licht vom Monde reflectirt wird, nicht anders zu erwarten ist; dagegen soll sich das Mondlicht, zur Zeit des ersten oder des letzten Viertels mit dem Polariskop untersucht, als polarisirt erweisen. Jedenfalls ist diese Polarisation eine äusserst geringe.

136 **Milchstrasse, Nebelflecken und Sternhaufen.*** Wenn man bei vollkommen durchsichtiger Luft in einer mondfreien Nacht den Himmel betrachtet, so erblickt man auf dem schwarzblauen, mit Sternen

Fig. 202.



übersäeten Hintergrunde einen zarten, weissen Nebelstreifen, welcher bei unregelmässiger Begrenzung mit wechselnder Breite durch eine ganze Reihe von Sternbildern hindurchzieht. Man kann seinen Lauf auf den Sternkarten Tab. III und Tab. IV verfolgen. Er zieht östlich vom Sirius vorüber, geht zwischen dem kleinen Hunde und Orion hindurch nach den Sternbildern des Schwans, des Adlers, des Ophiuchus und des Scorpions, um endlich nach der Stelle wieder zurückzukehren, an welcher wir ihn zuerst betrachtet haben.

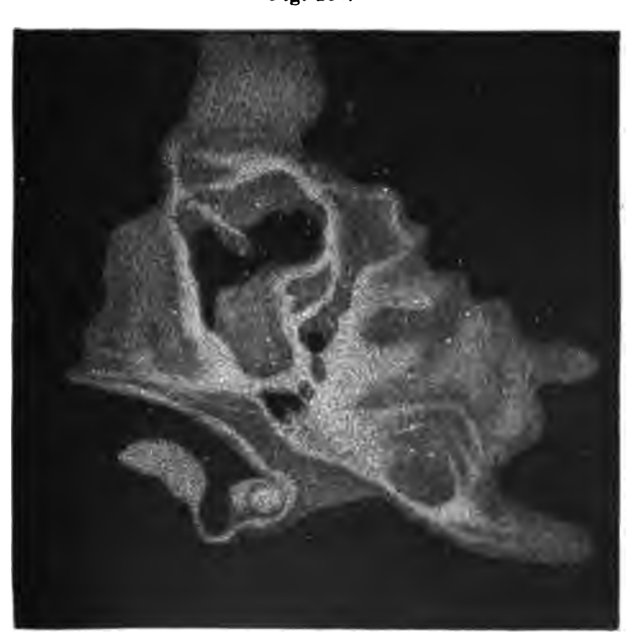
Dieser neblige Streifen, welcher den Namen der Milchstrasse führt, bildet also einen zusammenhängenden Ring, welcher das ganze Himmelsgewölbe in zwei nicht ganz gleiche Theile scheidet. Vom Schwan bis über den Schwanz des Scorpions hinaus theilt sich die Milchstrasse in zwei neben einander herlaufende Streifen, welche einen dunklen, nebelfreien Raum inselartig einschliessen.

Ausser dieser in günstigen Nächten leicht aufzufindenden und zu verfolgenden Milchstrasse zeigt sich aber am Himmelsgewölbe noch eine grosse Anzahl kleiner, nebliger Flecken, von denen aber nur wenige, wie

z. B. der Nebelfleck in der Andromeda, durch sehr gute Augen ohne Fernrohr wahrgenommen werden können, weshalb sie denn auch im Alterthume der Beobachtung ganz entgingen.

Simon Marius entdeckte im Jahre 1612 einen Nebelfleck, nämlich den nahe bei dem Sterne ν der Andromeda stehenden, welcher Fig. 202 und Tab. XXV des Atlas abgebildet ist und dessen Länge ungefähr $^1/_2$ Grad beträgt; derselbe ist übrigens schon in dem Sternverzeichnisse des im 10. Jahrhundert lebenden Persers Al-Sufi erwähnt. Cysat entdeckte im Jahre 1619 den sehr unregelmässig gestalteten Nebel, Fig. 203 und Tab. XXIV des Atlas, in der Nähe des Sternes ϑ

Fig. 203.



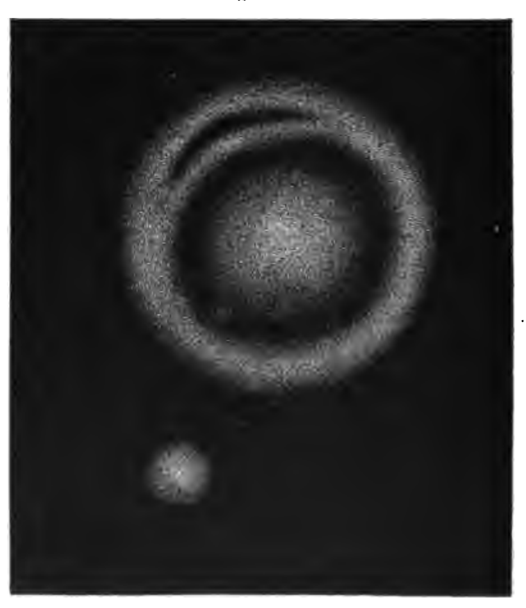
im Wehrgehänge des Orion, welchen ein gutes Auge gleichfalls ohne Fernrohr unterscheiden kann. Halley kannte im Jahre 1716 in Allem nur sechs Nebelflecken; durch die Arbeiten von Lacaille und Messier wurden gegen 120 bekannt, während W. Herschel allein mit Hülfe seiner mächtigen Teleskope deren 2500 entdeckte.

Viele dieser Nebel haben eine durchaus unregelmässige Gestalt, andere dagegen zeigen eine regelmässige Anordnung, wie z. B. der von Messier entdeckte Nebel in den Jagdhunden, Fig. 204 (a. f. S.). Ein anderer ringförmiger Nebel, welcher Fig. 205 (a. f. S.) abgebildet ist, befindet sich zwischen den Sternen β und γ der Leier.

Eine grosse Anzahl von Nebeln, welche Herschel entdeckte, sind rund oder oval und zeigen, Fig. 206 (a. f. S.), bei fast gleichförmiger

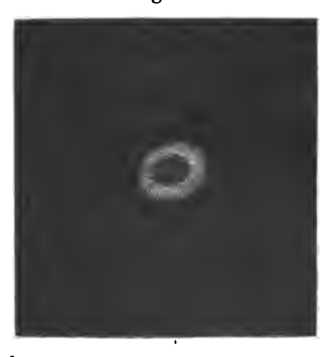
Helligkeit eine ziemlich scharfe Begrenzung; wegen ihrer Aehnlichkeit mit dem Ansehen der durch starke Fernrohre betrachteten Planeten wurden sie von ihren Entdeckern planetarische Nebel genannt.

Fig. 204.



Andere Nebel von gleicher äusserer Gestalt zeigen gegen ihre Mitte hin eine grössere Lichtstärke, und bei einigen ist die Concentration des Lichtes der Art, dass in der Mitte des Nebels ein heller Punkt, einem

Fig. 205.



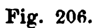


Fig. 206.



verschleierten blassen oder selbst einem helleren Sterne ähnlich, erscheint, wie Fig. 207, weshalb sie Nebelsterne genannt werden.

Manche Nebel enthalten zwei oder drei solcher heller Punkte, wie z. B. die Nebel Fig. 208 und 209, von denen sich der erstere im

Sternbilde des Schützen, der letztere im Sternbilde des Fuhrmanns befindet.

Fig. 210 stellt einen Doppelnebel dar, welcher sich ungefähr auf der Grenze zwischen dem grossen Bären und dem Haar der Berenice befindet.

Die Plejaden (Fig. 211, a. f. S.) erscheinen einem nicht ganz guten Auge nur als ein Nebel, während ein scharfes Auge hier sechs oder

Fig. 207.

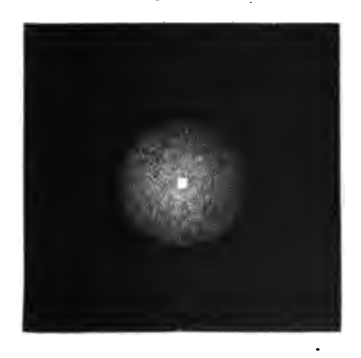


Fig. 208.



sieben einzelne Sterne unterscheidet und man mit einem Fernrohre ihrer 50 bis 60 zählen kann. Ebenso sieht man oft durch stärkere Teleskope

Fig. 209.



Fig. 210.

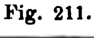


dicht zusammengedrängte Sternhaufen, wo man durch schwächere Fernrohre nur einen Nebel wahrnehmen kann.

Die Vergrösserung, welche man zur Auflösung verschiedener Nebel in einzelne Sterne nöthig hat, ist nicht immer die gleiche. Einige Nebel lassen sich schon durch geringere, andere nur durch die stärksten Vergrösserungen und die besten Instrumente auflösen. Fig. 212 (a. f. S.) und Tab. XXV des Atlas stellt einen auflöslichen Nebel im Hercules dar, wie er durch sehr gute und stark vergrössernde Fernrohre gesehen wird.

Die Milchstrasse gehört zu den auflöslichen Nebeln; denn sie erscheint, durch gute Fernrohre betrachtet, aus zahllosen kleinen, dichtgedrängten Sternchen zusammengesetzt.

Die Art, wie uns die Milchstrasse erscheint, lässt sich durch die Annahme erklären, dass die Sterne, aus welchen sie besteht, einen Ring

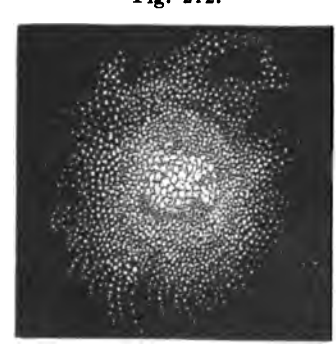

Fig. 211.



bilden, welcher dem in Fig. 204 abgebildeten ähnlich ist, und dass sich die Sonne sammt ihren Planeten nahezu in der Mitte dieses Ringes befinde.

Obgleich durch Anwendung stets besserer Instrumente immer mehr Nebel aufgelöst wurden, so war doch nicht anzunehmen, dass alle Nebel aus einzelnen Sternen zusammengesetzt sind; sondern es schien wahrscheinlicher, dass viele der unauflöslichen Nebel wirklich aus einem diffusen nebelartigen Stoffe bestehen, so dass diese Nebel von ähnlicher Natur sind wie die Kometen.

Fig. 212.



Für diese Ansicht, welche, wie wir später noch sehen werden, durch die Spectralanalyse auf das Vollständigste bestätigt wird, spricht namentlich der Umstand, dass es Nebel giebt, welche eine Reihe von Zwischenstufen zwischen den planetarischen Nebeln und den Nebelsternen bilden, d. h. Nebel, welche der Reihe nach immer stärkere Concentration des Lichtes in der Mitte zeigen, wodurch Herschel auf die Idee geführt wurde, dass der diffuse Stoff, aus welchem diese Nebel bestehen, sich nach und nach verdichtet und dass in Folge dieser Verdichtung Sterne entstehen.

Indem Laplace die Ideen Herschel's über die progressive Verdichtung der Nebel und ihre Umwandlung in Sterne adoptirte, und dieselben auf unser Planetensystem anwandte, gelang es ihm, die Bildung desselben auf eine sehr befriedigende Weise zu erklären.

Laplace nimmt an, dass ursprünglich die Sonne und alle Körper, welche gegenwärtig um dieselbe rotiren, eine einzige, sich noch über die Bahn des äussersten Planeten hinaus erstreckende Nebelmasse bildete. In Folge der fortschreitenden Erkaltung sind nun aber nach und nach immer wachsende Quantitäten dieser Nebelmasse in ihrem Centrum condensirt worden, so dass sich ein Kern bildete, dessen Masse allmählich wuchs.

War nun aber etwa ursprünglich die Winkelgeschwindigkeit für alle um dieselbe Axe rotirenden Nebelpartien die gleiche, so musste die absolute Geschwindigkeit für die entfernteren Nebelmassen grösser sein, als für die der Axe näher liegenden; wenn also eine von der Axe entferntere Nebelmasse in Folge der Abkühlung und Zusammenziehung des ganzen Systems sich dem bereits gebildeten Centralkörper nähert, so bringt sie ihre grössere absolute Geschwindigkeit mit und bewirkt auf diese Weise, dass der Centralkörper nach und nach rascher rotirt, als die übrige Nebelmasse. Die gegenseitige Reibung der einzelnen Partien der Nebelmasse wird nun aber die Bewegung derjenigen beschleunigen, welche weniger schnell rotiren, dagegen eine Verzögerung der schneller rotirenden bewirken, nach einer gewissen Zeit wird aber die Winkelgeschwindigkeit der gesammten Masse jedenfalls grösser sein müssen, als sie ursprünglich war.

In Folge der mit zunehmender Condensation immer zunehmenden Rotationsgeschwindigkeit kann aber endlich ein Moment eintreten, in welchem die Centrifugalkraft der Nebeltheilchen, welche sich in der Nähe des Aequators der rotirenden Nebelmasse befinden, grösser wird als die Kraft, mit welcher sie gegen den Mittelpunkt der Nebelmasse gravitiren, sie werden sich von der übrigen Nebelmasse trennen, und einen abgesonderten Nebelring bilden, welcher nach derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit um den Mittelpunkt rotirt, welche er im Moment der Abtrennung hatte.

So lösen sich denn nach und nach mehrere Nebelringe von der Centralmasse ab, welche, im Mittelpunkte des ganzen Systems condensirt, die Sonne bildet, während aus der Condensation der Nebelringe die Planeten hervorgehen.

Aus der Laplace'schen Hypothese über die Bildung unseres Planetensystems erklärt sich nun auch, dass alle Planeten in der gleichen Richtung um die Sonne laufen. Ein in und mit unserem Planetensystem gebildeter Körper kann unmöglich eine rückläufige Bewegung haben. Da nun aber viele Kometen sowohl wie auch Meteorite rückläufig sind, so ist klar, dass dieselben ursprünglich unserem Planetensysteme fremd, von aussen her in dasselbe eingedrungen sind.

Schiaparelli spricht sich über die Art, wie er sich die Bildung meteorischer Wolken denkt, welche in das Sonnensystem eingedrungen und mit der Erde zusammentreffend als Sternschnuppen erscheinen, ungefähr in folgender Weise aus: „Eine glühende Gasmasse von sehr bedeutenden Dimensionen und sphärisch abgerundeter Gestalt wird, wie wir eben gesehen haben, bei ihrer allmählichen Abkühlung und Condensation einen Fixstern bilden, welcher etwa, wie unsere Sonne, noch von einem Planetensysteme umgeben sein kann. Eine solche Gasmasse aber, von geringeren Dimensionen und unregelmässig verzweigter Form, wird an ihren hervorragenden und vom Mittelpunkte entfernten Partien eine raschere Abkühlung erfahren, wobei sich dann viele, ja unzählige isolirte kleine Concentrationskerne bilden. Tritt eine solche Concentration auf der Oberfläche ein, während der Centralkörper sich noch in Gasform befindet, so wird ein solches System, von der Sonne angezogen, einen Kometen liefern, welcher von einem Meteorstrome begleitet ist; erfolgt aber die Condensation in gleicher Weise durch die ganze Masse hindurch, so bildet sich eine kosmische Wolke, welche einen Sternschnuppenstrom ohne Kometen erzeugt.

Wenn nun eine solche, aus unzählig vielen kleinen Körperchen bestehende kosmische Wolke in die Anziehungssphäre der Sonne gelangt, so wird sie in eine parabolische Strömung verwandelt, die Jahre, Jahrhunderte, Jahrtausende brauchen kann, um, einen Strom von verhältnissmässig geringer Breite bildend, Stück für Stück durch das Perihel zu gehen. Von den zahlreichen Meteorschwärmen, welche auf diese Weise in unser Sonnensystem gelangen, werden uns nur diejenigen sichtbar, welche auf ihrer Bahn mit der Erde zusammenstossen.

Die in parabolischer Bahn sich bewegenden Meteorite kehren nach ihrem Durchgange durch das Perihel in den Weltraum zurück. Unter Umständen kann aber ein Theil eines in parabolischer Bahn laufenden Meteoritenstromes durch den störenden Einfluss eines Planeten von bedeutender Masse in eine elliptische Bahn geworfen werden, wie dies nach Leverrier's Ansicht für den Novemberschwarm durch den Uranus geschah, dessen Bahn dem Aphel und dem aufsteigenden Knoten der Leonidenbahn sehr nahe liegt (vergl. Fig. 161, S. 269).

137 Die Spectra der Fixsterne und der Nebelflecken.

Fraunhofer, der Entdecker der dunklen Linien im Sonnenspectrum, hat auch bereits die Spectra einiger Planeten und Fixsterne untersucht. Bei dem ersten der hierher gehörigen Versuche (Gilb. Ann. LVI, 308) fiel das vom Spiegel des Heliostats reflectirte Sternlicht auf das vor dem Theodolit-Fernrohr aufgestellte Prisma, ohne erst durch eine enge Oeffnung gegangen zu sein. Um dem Sternspectrum einige Breite zu geben, wie sie zur Beobachtung der dunklen Linien nöthig ist, setzte Fraunhofer vor das Objectiv des Fernrohrs (13''' Durchmesser) noch

eine Cylinderlinse von grosser Brennweite, deren Axe rechtwinkelig zur brechenden Kante des Prismas gestellt war.

Mit dieser Vorrichtung erkannte Fraunhofer im Spectrum der Venus die Linien *D*, *E*, *b* und *F*. Im Spectrum des Sirius beobachtete er drei dunkle Streifen im Grün und Blau, welche mit denen des Sonnenlichtes keine Aehnlichkeit zu haben schienen.

Später (Gilb. Ann. LXXIV, 375) wandte Fraunhofer zur Beobachtung der Sternspectra ein grösseres Fernrohr an, dessen Objectiv vier Zoll Oeffnung hatte. Vor diesem Objectiv wurde ein Flintglasprisma angebracht, dessen Flächen noch grösser waren, als die Oberfläche des Objectivs. Der brechende Winkel dieses Prismas betrug 37° 40′ und es brachte als Minimum eine Ablenkung von ungefähr 26° hervor. Es wurde nun ein zweites kleines Fernrohr mit dem grossen in der Weise fest verbunden, dass die Axen beider Fernrohre einen Winkel von 26° mit einander machten, und dass, wenn das kleine Fernrohr direct auf einen zu beobachtenden Stern gerichtet war, im grossen Fernrohr das durch das Prisma erzeugte Spectrum desselben beobachtet werden konnte. Mit dieser Vorrichtung wurden im Wesentlichen die schon früher gemachten Beobachtungen bestätigt.

Durch Kirchhoff's Entdeckung in Betreff des Ursprungs der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspectrum haben nun auch die Spectra der Fixsterne ein erhöhtes Interesse gewonnen, und in Folge dessen sind sie der Gegenstand neuerer und eingehender Untersuchungen geworden. Bei den neueren Apparaten, welche zur Beobachtung der Fixsternspectra angewandt wurden, sind die analysirenden Prismen in der Regel nicht vor dem Objectiv des Fernrohres, sondern am Ocularende desselben angebracht.

Das von Huggins bei seinen ersten Untersuchungen benutzte Spectroskop war an einem Fernrohre von acht Zoll Objectivöffnung angebracht, welches parallaktisch aufgestellt und mit einem Uhrwerk versehen war. An das Ocularende desselben ist ein Rohr *C*, Fig. 213 (a. f. S.), angeschraubt, in welchem das einerseits durch die Cylinderlinse *a* geschlossene Rohr *B* etwas hin- und hergeschoben werden kann. Die Cylinderlinse *a* hat 14 Zoll Brennweite und ihre Axe steht rechtwinklig zu den brechenden Kanten der analysirenden Prismen.

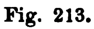
Etwas hinter *a* befindet sich das Rohr *D*. Sein vorderes, gegen zwei Zoll von *a* entferntes Ende ist bis auf einen engen, mit der brechenden Kante der Prismen parallelen Spalt geschlossen, welcher sich im Brennpunkte der das andere Ende des Rohres *D* schliessenden Collimatorlinse *g* (4,7″ Brennweite) befindet.

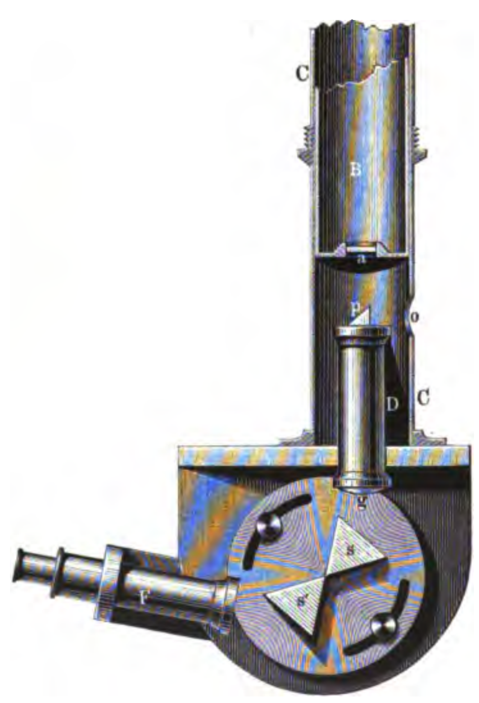
Die vom Spalt aus divergirenden, durch die Linse *g* parallel gemachten Strahlen werden endlich, nachdem sie noch die Flintglasprismen *s* und *s′* (60° brechender Winkel) durchlaufen haben, durch das kleine Fernrohr *F* (von 5,7 facher Vergrösserung) beobachtet.

Das Fernrohr *F* ist übrigens nicht fest, wie es der Einfachheit halber in Fig. 213 gezeichnet ist, sondern es kann in einer zur brechen-

den Kante der Prismen rechtwinkeligen Ebene mittelst einer Mikrometerschraube gedreht werden.

Um das Spectrum der Gestirne mit dem farbiger Flammen oder elektrischer Funken vergleichen zu können, ist die Hälfte des Spaltes am vorderen Ende des Rohres *D* durch ein rechtwinkeliges Prisma *p* geschlossen, welches mittelst totaler Reflexion die durch die Oeffnung *o* von der fraglichen Lichtquelle einfallenden Strahlen in die gleiche Richtung wie die vom Sterne kommenden Strahlen bringt, so dass man das Spectrum des Sterns unmittelbar über dem jener Lichtquelle erhält.


Fig. 213.



Für die Beobachtung lichtschwacher Objecte, wie z. B. der Nebelflecke, wurde nur ein analysirendes Prisma in Anwendung gebracht.

Die Cylinderlinse *a* wird nur bei der Beobachtung von Sternen gebraucht. Ohne Anwendung einer solchen Linse würde das Spectrum eines Sternes nur aus einer farbigen *Linie* bestehen, in der die *Fraunhofer*'schen Linien nicht bemerkbar sein würden; durch die Cylinderlinse wird aber die Linie zu einem *Bande* verbreitert, wodurch die *Fraunhofer*'schen Linien eine grössere Ausdehnung erhalten.

Solche Objecte, welche im Fernrohre merkliche Dimensionen haben, wie der Mond, die Planeten und Nebelflecke, werden *ohne die Cylinderlinse a* beobachtet. Wenn es sich dagegen um die Beobachtung der *Fixsternspectra* und nicht um die Vergleichung derselben mit dem Spectrum irdischer Lichtquellen handelt, kann man das Rohr *D* mit dem Spalt weglassen.

Die mit diesem und ähnlichen Apparaten erzielten Resultate sind im Wesentlichen folgende.

Da *Mond* und *Planeten* nur mit reflectirtem Sonnenlicht leuchten, so können sie auch nur ein durch ihre Atmosphäre modificirtes Sonnenspectrum zeigen. Im Spectrum des *Mondes* hat man kein Anzeichen

einer Mondatmosphäre wahrnehmen können. Das Jupiter-Spectrum zeigt Absorptionsstreifen, welche zum Theil mit denen der Erdatmosphäre zusammenfallen, zum Theil aber auch der Erdatmosphäre ganz fremd sind, welche also anzeigen, dass in der Atmosphäre des Jupiter Gase und Dämpfe vorkommen, welche in der Erdatmosphäre fehlen. Das schwache Spectrum des Saturn ist dem des Jupiter ähnlich.

In dem Spectrum des Uranus waren bis vor kurzer Zeit die Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums nicht wahrgenommen, sondern nur abwechselnd hellere und dunklere Streifen von grosser Breite. Lockyer hat daher die Vermuthung aufgestellt, dass das Licht des Uranus im Wesentlichen selbstleuchtend, also völlig verschieden von dem der innerhalb seiner Bahn befindlichen Planeten sei, indessen haben neuere Untersuchungen von Keeler und Huggins diese Ansicht nicht bestätigt. Es haben sich im Gegentheil die hauptsächlichsten Linien des Sonnenspectrums im Spectrum des Uranus nachweisen lassen, nur sind sie zum Theil stark verbreitert, was auf eine sehr dichte Atmosphäre des Uranus schliessen lässt. Das Spectrum des Neptun ist dem des Uranus sehr ähnlich.

In dem Spectrum des Mars finden sich zahlreiche Linien des Sonnenspectrums, ausserdem sind aber in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums Streifen vorhanden, die mit dem Absorptionsspectrum der Erdatmosphäre ziemlich übereinstimmen, und aus denen Vogel gefolgert hat, dass Mars von einer wasserdampfreichen Atmosphäre umgeben ist, die in ihrer Zusammensetzung derjenigen der Erde ähnlich ist. In dem Spectrum der Venus und des Mercur sind mit Sicherheit keine Linien ausser den Fraunhofer'schen des Sonnenspectrums und denjenigen unserer irdischen Atmosphäre nachgewiesen. Da Mercur nur in geringer Höhe beobachtet werden kann, so müssen sich in seinem Spectrum Absorptionslinien zeigen, welche unserer Atmosphäre angehören, doch ist Vogel der Ansicht, dass dieselben etwas stärker hervortreten, als nach der Höhe des Gestirns über dem Horizonte zu erwarten ist, woraus zu schliessen wäre, dass Mercur eine Atmosphäre besitzt, die von der unserigen nicht wesentlich verschieden ist. Auch in dem Spectrum der Venus zeigt sich eine Verstärkung der atmosphärischen Linien, jedoch nur in so geringem Maasse, dass man annehmen muss, die Atmosphäre der Venus sei entweder sehr dünn, oder sie sei mit Wolken angefüllt, welche schon in den oberen Theilen der Atmosphäre das Sonnenlicht stark reflectiren.

Die Fixsterne geben uns, obgleich sie entfernter und von geringerem Glanze sind, als der Mond und die Planeten, doch vollständigere Anzeichen ihrer innersten Natur, weil sie selbstleuchtende Körper sind. Die Vergleichung der Fixsternspectra mit den Spectren verschiedener metallischer Elemente macht es nun möglich, zu ermitteln, welche Stoffe in dampfförmigem Zustande in ihrer Atmosphäre enthalten sind.

Secchi in Rom wandte zur Untersuchung der Sternspectra Geradschau-Spectroskope an, welche in §. 139 näher besprochen werden sollen.

Er hat seine Beobachtungen auf mehrere hundert Fixsterne, und zwar bis zu solchen siebenter Grösse ausgedehnt. Die beobachteten Spectra mit einander vergleichend, fand er, dass sie sich in vier Hauptgruppen oder mit anderen Worten, dass sie sich in vier Haupttypen zurückführen lassen, und dass man häufig in derselben Gegend des Himmels auch Sterne desselben Typus findet.

Zu dem ersten Typus rechnet man gewöhnlich die meisten der weissen Sterne, wie Sirius, Wega, Atair, Regulus, Spica und andere. In dem Spectrum tritt der blaue und violette Theil stark hervor, es finden sich darin meist viele feine, ausserdem aber einige auffallend breite Linien, welche letztere darauf hinzudeuten scheinen, dass die Sterne von einer sehr hohen und dichten Atmosphäre umgeben sind (s. Tab. 10, Fig. 4, Spectrum des Sirius). In dem Spectrum der Wega coincidiren einige Linien genau mit solchen des Wasserstoffes, ferner ist es sehr wahrscheinlich, dass die Atmosphäre des Sternes Natrium, Magnesium, Eisen und Wasserstoff enthält. Das Spectrum des Sirius ist mit dem der Wega beinahe identisch, doch fehlen einige Linien, die wahrscheinlich zum Wasserstoff gehören. Seine Atmosphäre enthält jedenfalls auch Wasserstoff, Eisen, Magnesium und Natrium. Sehr ähnlich diesen Spectren sind die der Sterne η Ursae majoris, Spica, Atair, α Cygni und vieler anderen Sterne.

Zum zweiten Typus gehören die gelblichen Sterne, unter ihnen die Sonne. ferner Aldebaran, Arcturus, Capella, Pollux, Procyon u. a. Bei der Sonne ist die Zahl der Linien überaus gross, und es sind durchaus noch nicht alle mit den Spectren bekannter chemischer Elemente in Uebereinstimmung gebracht (s. Tab. 10, Fig. 1, Spectrum der Sonne). Das Spectrum der Sterne des zweiten Typus fällt durch seine Aehnlichkeit mit dem Sonnenspectrum sofort auf, nur sind natürlich, entsprechend der geringeren Helligkeit, viele der schwachen Linien nicht zu sehen. Die grösste Menge von dunklen und breiten Linien befindet sich im Blau und Violett, dagegen sehr wenige im Gelb, und daher ist es erklärlich, dass bei diesen Gestirnen die gelbliche Farbe vorherrscht. In dem Spectrum des Aldebaran sind zahlreiche auf der Erde vorkommende Elemente gefunden, z. B. Wasserstoff, Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen, Wismuth, Tellur, Antimon und Quecksilber, im Arctur Wasserstoff, Natrium, Calcium, Magnesium, Eisen und Chrom, vermuthet sind Baryum, Mangan und Silber.

Zu dem dritten Typus rechnen wir die Sterne mit röthlichem Lichte und viele veränderliche Sterne, z. B. α Orionis, α Herculis, o Ceti, β Pegasi, Antares u. a. Das Spectrum dieser Sterne hat eine besondere Eigenthümlichkeit, auf welche zuerst Secchi aufmerksam gemacht hat. Es erscheint nämlich wie eine Reihe von der Seite beleuchteter Säulen, vermuthlich in Folge grosser Zusammenhäufungen feiner Linien an einzelnen Stellen, die dann den Anschein von Schattirungen erwecken. Zu diesen Sternen gehört α Orionis (s. dessen Spectrum auf Tab. 10) und

α Herculis. In dem ersteren Stern hat Huggins wiederum Natrium, Magnesium, Calcium, Eisen und Wismuth gefunden; Vogel fand ausserdem noch mit einiger Wahrscheinlichkeit Silber, Mangan, Thallium und Zinn; zweifelhaft sind Wasserstoff, Cadmium, Antimon und Quecksilber. Bei α Herculis fand Vogel Magnesium, Natrium und Eisen, mit einiger Wahrscheinlichkeit auch Calcium und Zinn.

Manche der Linien in dem Spectrum der Sterne sind sehr ausgebreitet, wie z. B. die Natriumlinie in dem Spectrum von α Herculis. Etwas Aehnliches findet sich bei den Linien im Sonnenspectrum, welche durch unsere Atmosphäre verursacht werden, und die sich bei sehr tiefem Stande der Sonne zeigen. Es scheint dies darauf hinzudeuten, dass auch diese rothen Sterne von dichten Atmosphären umgeben sind.

Der Anblick des Spectrums des dritten Typus hat das Charakteristische, dass die dunklen Bänder auf einer Seite ziemlich scharf begrenzt sind, und nach der anderen Seite allmählich verlaufen. Die scharf begrenzten Partien finden sich bei fast allen Sternen dieses Typus an derselben Stelle, und manche fallen mit den Linien bekannter irdischer Stoffe zusammen, wie z. B. Magnesium, Natrium und Eisen. Bei diesen Sternen tritt zwar der Wasserstoff nicht deutlich hervor, doch wird er wahrscheinlich nicht ganz fehlen, sondern vielfach ein helles Spectrum bilden, welches auf dem ebenfalls hellen Hintergrunde nicht deutlich hervortritt. Etwas Aehnliches haben wir bei dem Spectrum der Sonnenflecken, auch bei diesen ist das Spectrum des Wasserstoffes hell; überhaupt hat das Spectrum der Sterne des dritten Typus viel Aehnlichkeit mit dem der Sonnenflecken, und es liegt daher die Vermuthung nahe, dass sich auf ihnen Flecken von grosser Ausdehnung befinden. Hiermit stimmt die Thatsache überein, dass eine grosse Anzahl der röthlichen Sterne veränderliches Licht hat, und dass überhaupt fast alle veränderlichen Sterne von röthlicher Farbe sind.

Während zu dem ersten Typus beiläufig die Hälfte aller Sterne gehört, gehört $1/3$ zu dem zweiten Typus; zu dem dritten Typus gehören etwa 100 der helleren Sterne.

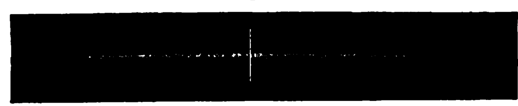
Zu dem vierten Typus, den übrigens Vogel nur als eine Unterabtheilung des dritten Typus anzusehen wünscht, gehören nur schwächere Sterne; die hellsten unter ihnen sind sechster Grösse. Das Spectrum scheint aus hellen Bändern zu bestehen, zuweilen durchzogen von deutlichen hellen Linien. Es unterscheidet sich in charakteristischer Weise von dem Spectrum der Sterne des dritten Typus, indem bei diesem die hellsten Theile der Bänder in der Richtung nach dem violetten, bei den Sternen des vierten Typus dagegen nach dem rothen Ende liegen.

Einige wenige Sterne hat man zu einem fünften Typus zusammengefasst. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie das directe, d. h. aus hellen Linien bestehende Spectrum des Wasserstoffes geben. Sie haben mehrere helle Linien, welche mit den Linien dieses Gases zusammenfallen, und ausserdem noch eine Linie, welche dieselbe Lage wie die Linie D_3

der Sonnenprotuberanzen hat, von welcher in §. 126 die Rede war. Zu diesen Sternen gehört γ Cassiopeiae, β Lyrae, der Stern η Argus der südlichen Halbkugel und einige andere.

Die sogenannten temporären Sterne sind ebenfalls in einigen Fällen bezüglich ihres Spectrums untersucht. Das Spectrum des im Jahre 1866 in dem Sternbilde der nördlichen Krone erschienenen Sternes zeigte sich anscheinend als aus zwei Spectren zusammengesetzt. Das eine derselben war dem Sonnenspectrum ähnlich; es war ein continuirliches Spectrum, durchzogen von dunklen Linien. Ausserdem aber fanden sich noch vier sehr helle Linien. Das erste Spectrum deutet darauf hin, dass der Stern einen glühenden festen oder flüssigen Kern hatte, und von einer Atmosphäre umgeben war, in welcher die Stoffe, welche die dunklen Linien hervorbringen, sich in dampfförmigem Zustande befanden. Das zweite, aus hellen Linien bestehende Spectrum beweist aber, dass noch eine zweite Lichtquelle vorhanden war, und zwar ein leuchtendes Gas. Wir können ausserdem aus der Lage der vier hellen Linien ersehen, dass dieses Gas wenigstens theilweise aus Wasserstoff bestand. Bedenkt man nun die Plötzlichkeit des Aufleuchtens des Gestirns, so liegt die Vermuthung nahe, dass ein Ausbruch glühender Gase aus dem Inneren des Sternes stattgefunden hat, in weit grösserem Maasse, als je bei der Sonne beobachtet ist. Hatten sich nun vorher in Folge der fortgeschrittenen Abkühlung der Oberfläche auf derselben chemische Verbindungen gebildet, so konnten diese durch den Ausbruch des glühenden Inneren wieder zersetzt werden; es konnte dabei ein Verbrennungsprocess stattfinden, der mit einer starken Lichtentwickelung verbunden war. Dass auch das continuirliche Spectrum sehr hell geworden war, spricht dafür, dass durch die starke Gasverbrennung auch der bereits feste Theil des Sternes in lebhaftes Glühen gekommen war. Die rasche Abnahme des Lichtes würde sich dadurch erklären lassen, dass das Gas rasch verbrannte, und darauf das Glühen allmählich abnahm.

Fig. 214.



Das Spectrum des im November 1876 im Sternbilde des Schwanes plötzlich erschienenen Sternes war dem des Jahres 1866 sehr ähnlich. Auch bei ihm fand man ein continuirliches Spectrum mit zahlreichen dunklen Linien, daneben aber auch mehrere helle, unter ihnen einige Linien des Wasserstoffes.

Ein höchst überraschendes Resultat ergab sich, als Huggins im August 1864 das Spectrum eines kleinen, aber verhältnissmässig glänzenden Nebelfleckes (37 H IV im Drachen) beobachtete. Er fand es nicht etwa dem Spectrum der Fixsterne, sondern dem glühenden Gase ähnlich aus drei hellen Linien bestehend, Fig. 214, von denen die hellste (in unserer Figur die Linie rechts) mit der intensivsten aus der Gruppe der für Stickstoff charakteristischen Linien, die schwächste aber (die Linie

links) mit der Linie F des Wasserstoffspectrums zusammenfällt. Die mittlere der drei hellen Linien, welche das Spectrum dieses Nebelfleckes bilden, hat keine entsprechende unter den hellen Linien der 30 irdischen Elemente, welche damit verglichen wurden.

Diese Beobachtung beweist, dass der genannte Nebelfleck nicht etwa ein Haufen gesonderter Sterne, sondern dass er ein wirklicher Nebel ist. Ein derartiges Spectrum kann nicht von einem glühenden festen oder flüssigen, sondern nur von einem in gasförmigem Zustande glühenden Körper herrühren.

Ausser diesen hellen Linien sah man noch ein ausserordentlich schwaches continuirliches Spectrum, welches keine merkliche Ausdehnung in die Breite hatte, und welches auf die Existenz eines kleinen leuchtenden, aber nicht gasförmigen Kernes hinweist.

Es ist klar, dass die Beobachtung solcher Objecte mit dem Prisma wegen ihrer Lichtschwäche äusserst schwierig ist. Sie ist nur bei ganz klarem Himmel und bei Abwesenheit des Mondes möglich.

In den Jahren 1865 und 1866 hat Huggins 60 Nebelflecke und Sternhaufen untersucht; ungefähr $^1/_3$ derselben gaben ein dem oben besprochenen ähnliches Spectrum, mit einer oder mit zwei oder mit drei hellen Linien. Zu den letzteren gehört auch der Nebel im Schwertgriff des Orion. Das Spectrum eines Nebelfleckes (18 H IV) zeigt vier helle Linien.

Alle wirklichen Sternhaufen, welche durch das Teleskop in getrennte glänzende Punkte aufgelöst werden, geben ein Spectrum von continuirlichem Ansehen, und man ist berechtigt, anzunehmen, dass alle bis jetzt noch nicht aufgelösten Nebel, welche gleichfalls ein continuirliches Spectrum zeigen, wie z. B. der grosse Nebel der Andromeda, gleichfalls Sternhaufen sind.

Das Spectrum der Kometen. Zum ersten Male wurde die 138
Spectralanalyse auf die Untersuchung von Kometen im Jahre 1864 von Donati angewandt, der bemerkte, dass das Licht eines Kometen dieses Jahres ein continuirliches, von drei hellen Streifen durchzogenes Spectrum ergab. Später hat sich gezeigt, dass alle spectralanalytisch untersuchten Kometen ein ähnliches Spectrum zeigten, und dass dasselbe eine grosse Aehnlichkeit mit demjenigen des Kohlenwasserstoffes hat. Nach einer Zusammenstellung von Scheiner[1]) waren die Wellenlängen dieser drei Streifen bei acht Kometen der Jahre 1874 bis 1884 folgende:

[1]) Die Spectralanalyse der Gestirne. Leipzig 1890.

Komet	Bänder im Kometenspectrum			Beobachter
	I	II	III	
1874 III	563,1 $\mu\mu$	516,6 $\mu\mu$	471,2 $\mu\mu$	Bredichin
1874 III	562,6	515,2	471,7	Vogel
1877 II	—	516,8	472,3	Sternwarte Dunecht
1880 d	—	517,0	473,8	Young
1881 b	563,1	516,4	473,5	Maunder
1881 b	563,0	517,4	469,9	Vogel
1881 c	563,0	516,5	—	Maunder
1881 c	563,4	516,5	471,0	Vogel
1882 II	—	517,6	—	Hasselberg
1883 b	—	516,1	—	Maunder
1884 I	—	516,5	—	Hasselberg
Mittel:	563,0	516,6	471,9	

Dagegen sind die Wellenlängen für drei Streifen des Kohlenwasserstoffspectrums resp. 563,5, 516,5 und 473,8 $\mu\mu$, also fast genau identisch mit den obigen. Die Bezeichnung $\mu\mu$ bezeichnet milliontel Millimeter.

Das Spectrum der Kohlenwasserstoffe unterscheidet sich nun allerdings von dem Spectrum der Kometen darin, dass in dem ersteren sich ausser den genannten noch drei dicht gedrängte Gruppen von Linien, eine im rothen und die andere im violetten Theile des Spectrums befinden, welche sich in dem Kometenspectrum nicht finden. Indessen erklärt sich dieser Umstand ohne Schwierigkeit durch die geringe Helligkeit des Kometenspectrums, sowie dadurch, dass die beiden genannten Gruppen von Linien in dem Spectrum des Kohlenwasserstoffes besonders schwach erscheinen. Auch hat Vogel bei dem Kometen Wells des Jahres 1882 (I) einen Streifen im rothen Theile des Spectrums beobachtet, welcher wahrscheinlich mit der rothen Gruppe des Kohlenwasserstoffes zusammenfällt.

Das Spectrum dieses Kometen zeigte überdies noch andere besondere Eigenthümlichkeiten. Gleich anfangs fiel es dadurch auf, dass der continuirliche Theil ungewöhnlich hell erschien, während die Streifen des Kohlenwasserstoffes nur in unmittelbarer Nähe des Kometenkernes sichtbar wurden. Die Helligkeit des continuirlichen Spectrums nahm überdies mit der grösseren Annäherung des Kometen an die Sonne fortwährend zu. Als aber der Komet sich der Sonne so weit näherte, dass seine Entfernung von ihr nur noch 0,4 der Entfernung der Erde von der Sonne betrug, zeigte sich plötzlich in seinem Spectrum die gelbe Linie des Natriums, und nahm an Helligkeit fortwährend zu, bis der Komet seine grösste Annäherung (0,06 der Erdentfernung) an die Sonne erreichte.

Auch der grosse Septemberkomet des Jahres 1882 (II) zeigte die Natriumlinie in seinem Spectrum, so lange er sich in der Nähe der Sonne befand, und bei beiden Kometen wurden die Bänder des Kohlenwasserstoffes um so schwächer, je heller sich die Linie des Natriums zeigte. Ueberdies erschienen in dem Spectrum des Kometen II 1882 während seiner grössten Annäherung an die Sonnenoberfläche, die kurze Zeit nur wenige Tausend Meilen betrug, einige Linien, die mit den helleren Linien des Eisens identisch waren. In dem Spectrum des Kometen II 1881 fand Huggins Linien, welche mit solchen des Cyangases in Uebereinstimmung waren.

Dass die Kometen in ihrem Spectrum helle Bänder und Linien zeigen, beweist, dass sie wenigstens theilweise eigenes Licht ausstrahlen, und zwar ist es in hohem Grade wahrscheinlich, dass dieses Licht elektrischer Natur ist, wie denn auch die Koma- und Schweifbildung auf starke elektrische Vorgänge innerhalb der Kometen schliessen lässt.

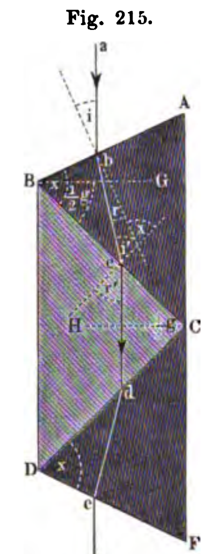
Dass die Kometen aber auch theilweise das Sonnenlicht reflectiren, geht daraus hervor, dass das Licht einiger Kometen sich schwach polarisirt zeigte, und überdies hat Huggins auf photographischem Wege gefunden, dass in dem continuirlichen Spectrum der Kometen II 1881 und I 1882 Fraunhofer'sche Linien des Sonnenspectrums zu erkennen waren.

Es ist schon früher (§. 102) darauf hingewiesen, dass ein Zusammenhang zwischen den Kometen und den Sternschnuppen besteht. Das Spectrum der letzteren lässt sich nicht mit Genauigkeit beobachten, weil die Zeit ihres Leuchtens zu kurz ist, doch scheinen sich in demselben bisweilen die Linien des Magnesiums und Natriums zu finden. Von grossem Interesse sind aber spectralanalytische Untersuchungen gewesen, welche Vogel an kleinen, künstlich stark erhitzten Bruchstücken von Meteorsteinen ausgeführt hat. Die denselben entströmenden Gase zeigten beim Durchgange elektrischer Inductionsfunken das Spectrum des Kohlenoxydes mit Bändern des Kohlenwasserstoffes, und dasselbe hatte grosse Aehnlichkeit mit dem Spectrum der Kometen.

Spectralapparate ohne Ablenkung. Der Umstand, dass in 139
den gewöhnlichen Spectralapparaten die Lichtstrahlen durch die Prismen von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt werden, erschwert in manchen Fällen allerdings die Einstellung, weshalb man darauf dachte, Prismenapparate zu construiren, welche die prismatische Farbenzerstreuung ohne Ablenkung der mittleren (etwa der gelben) Strahlen hervorbringen. Die hier zu lösende Aufgabe ist also die umgekehrte des Achromatismus, welche bekanntlich darin besteht, durch Combination zweier Prismen von verschiedenem Zerstreuungsvermögen die Farbenzerstreuung aufzuheben, während eine Ablenkung übrig bleibt. Der Erste, welcher diese Idee auszuführen suchte, ist Amici, welcher bereits 1860 einen solchen Apparat, ein spectroscope à vision directe,

wie es die Franzosen nennen, construirte. An ein gleichschenkliges Flintglasprisma BCD, Fig. 215, dessen brechender Winkel bei C mit g bezeichnet werden mag (bei dem Amici'schen Apparat war $g = 90^0$), sind auf beiden Seiten zwei einander gleiche Crownglasprismen ABC und CDF aufgekittet, deren brechender Winkel x so zu bestimmen ist, dass für Licht von mittlerer Brechbarkeit der eintretende Strahl ab ebenso wie der austretende ef dem das Flintglasprisma symmetrisch durchlaufenden Strahl cd parallel sind.

Fig. 215.



Zur Berechnung von x haben wir zunächst folgende Gleichungen:

$$\sin i = n . \sin r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

und

$$n . \sin i' = m . \sin r'$$

oder

$$n . \sin i' = m . \sin \frac{g}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

da r' offenbar gleich $\frac{g}{2}$ ist. In diesen Gleichungen bezeichnet n den Brechungsexponenten des Crownglases, m den des Flintglases für die fragliche Strahlenart. Da ab mit cd parallel sein und der letztere Strahl das Flintglasprisma symmetrisch durchlaufen soll, so stehen ab und cd rechtwinklig auf der Linie HC, welche den brechenden Winkel bei C halbirt und rechtwinklig auf der mit ihr parallelen BG; daraus folgt aber

$$i = x - \frac{1}{2} g;$$

ferner ist aber auch

$$i' = x - r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

Setzt man in Gleichung 2) für $\frac{g}{2}$ seinen Zahlenwerth, so kann man den entsprechenden Zahlenwerth von i' berechnen. Da die Winkel i und r jedenfalls klein genug sind, so kann man ohne merklichen Fehler statt der Gleichung 1) setzen

$$i = nr$$

und wenn man für i seinen obigen Werth setzt

$$x - \frac{g}{2} = nr \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

combinirt man endlich die Gleichungen 3) und 4), so kommt

$$x = \frac{2ni' - g}{n - 1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5)$$

Für $g = 90^0$, $m = 1{,}63$ und $n = 1{,}53$ (Brechungsexponenten für die Linie D) ergiebt sich aus Gleichung 2)

$$sin\, i' = 0{,}75317,$$

also

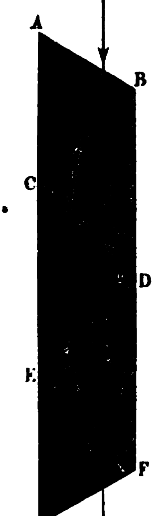
$$i' = 48^0\ 52' = 48{,}866^0$$

und endlich, wenn man diesen Werth von i' mit $g = 90^0$ und $n = 1{,}53$ in Gleichung 5) setzt,

$$x = 55{,}9^0 = 55^0\ 54'.$$

Die nach diesen Daten ausgeführte Prismencombination wird also die gelben Strahlen ohne Ablenkung durchlassen, während die rothen nach der einen, die blauen nach der anderen Seite der gelben hin abgelenkt werden, kurz, der Apparat giebt ein Spectrum ohne Ablenkung der gelben Strahlen.

Fig. 216.



Es versteht sich von selbst, dass bei gleichem Werthe von g der Winkel x doch ein anderer werden muss, wenn man andere Glassorten anwendet, als diejenigen, auf welche sich die obige Berechnung bezieht.

Um ein breiteres Spectrum zu erzielen, combinirte Janssen zwei Flintglasprismen mit drei Crownglasprismen in der durch Fig. 216 erläuterten Weise, so dass ein Crownglasprisma CDE in die Mitte des ganzen Systems zu stehen kam. Während die brechenden Winkel bei C, D und E gleich 90^0 waren, betrug jeder der Winkel x (natürlich für bestimmte Glassorten) 81^0. Secchi bediente sich bei seinen Untersuchungen über das Licht der Gestirne einer solchen Combination, für welche die Winkeldistanz der Fraunhofer'schen Linien B und H $6^0\ 51'$, also fast doppelt so viel betrug, als für ein gewöhnliches Flintglasprisma, dessen brechender Winkel 60^0 beträgt.

Um Sternspectra mittelst solchen Prismensystems zu untersuchen, werden dieselben entweder einfach zwischen dem Objectiv o des Fernrohres und dem Collectivglas c desselben eingesetzt, wie Fig. 217 (a. f. S.) erläutert (a ist die Ocularlinse des Fernrohres); es kann hier das Collectivglas c durch eine Cylinderlinse ersetzt werden, deren Axe rechtwinklig auf der Kante der Prismen steht, oder man bedient sich des zusammengesetzteren Arrangements, bei welchem die von dem Fernrohrobjectiv o, Fig. 218 (a. f. S.), kommenden Strahlen zunächst auf die Cylinderlinse c fallen, welche den Brennpunkt f des Objectivs in eine der Kante der Prismen paralle Brennlinie verwandelt. Die von f aus divergirenden Strahlen werden durch die Collimatorlinse d parallel gemacht, und nach ihrem Durchgang durch das Prismensystem p durch ein kleines Fernrohr beobachtet, dessen Objectiv h und dessen Ocular a ist.

Simmler hat die Farbenzerstreuung ohne Ablenkung dadurch hervorgebracht, dass er die aus dem zerstreuenden Flintglasprisma austretenden Strahlen durch Reflexion wieder in die Einfallsrichtung zurückführt, und zwar wendet er zu diesem Zweck die totale Reflexion auf der Hypotenusenfläche eines rechtwinkligen Glasprismas an (Pogg.

Ann. CXX, 1863). Nach diesem Princip construiren Herrmann und Pfister in Bern Spectroskope ohne Ablenkung mit zwei zerstreuenden Flintglas- und zwei reflectirenden Crownglasprismen.

Fig. 219 stellt in $^1/_3$ der natürlichen Grösse die spectroskopische Vorrichtung dar, deren sich Zöllner zu der in §. 126 besprochenen Beobachtung der Sonnen-Protuberanzen bediente, und welche mittelst des Schraubengewindes *bb* an den Refractor angeschraubt wird. *s* ist der Spalt, welcher durch eine in der Figur weggelassene, von aussen her in die Röhre *AA* hineingehende Schraube enger und weiter gestellt werden kann. Das Rohr, an dessen Ende der Spalt *s* angebracht ist, kann durch eine gleichfalls in der Zeichnung weggelassene Schraube in der Richtung seiner Axe vor- und rückwärts geschoben werden, um es genau in den Brennpunkt der Collimatorlinse *L* (12 cm Brennweite) zu bringen. Die parallel aus der Collimatorlinse austretenden Strahlen werden, nachdem sie das Prismensystem durchlaufen haben, durch die Ocularröhre *F* beobachtet, deren vordere Linse *L'* gleichfalls 12 cm Brennweite hat. Um verschiedene Partien des Spectrums einstellen zu können, ist das Ocularrohr *F* um den Zapfen *z* drehbar, so dass die Richtung seiner Axe mittelst der Schraube *h* fein verstellt werden kann.

Fig. 217.

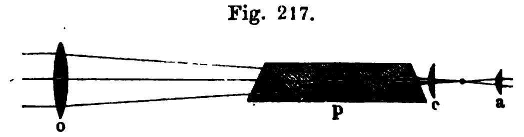
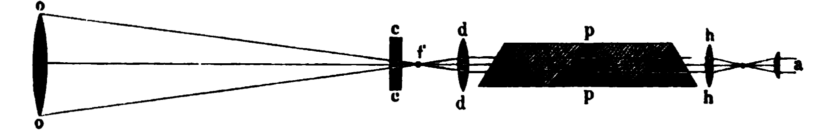


Fig. 218.



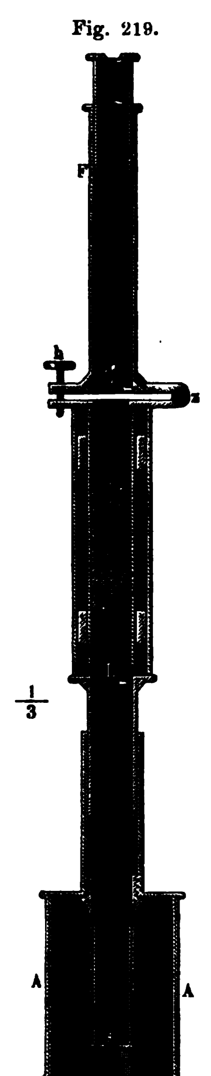
Das ganze Spectroskop lässt sich um seine Axe drehen, während die mit dem Gewinde *bb* verbundenen Theile in unveränderter Lage zum Refractor bleiben.

140 **Einfluss der räumlichen Bewegung der Sterne auf ihr Spectrum.** Wenn man sich irgend einer Tonquelle sehr rasch nähert, so wird das Ohr von den Schallwellen, welche der tönende Körper aussendet, in rascherer Aufeinanderfolge getroffen werden, als wenn die Entfernung zwischen Tonquelle und Beobachter unverändert bliebe, der Ton muss also durch die rasche Annäherung für unser Ohr erhöht werden. Umgekehrt muss der Ton erniedrigt werden, wenn die Entfernung zwischen Beobachter und Tonquelle rasch zunimmt.

Diese von Doppler entwickelte Consequenz ist durch Versuche auf Eisenbahnen, und zwar zuerst von Buys-Ballot auf das Vollständigste bestätigt worden.

Das eben angedeutete Princip ist aber für Lichtwellen ebenso richtig, wie für Schallwellen, der Versuch Doppler's aber, daraus die Farben mancher Sterne zu erklären, beruht auf einer irrigen Voraussetzung. Doppler meinte nämlich, dass ein an und für sich weisser Stern bei rascher Annäherung gegen die Erde bläulich, bei rascher Entfernung dagegen röthlich erscheinen müsste.

Fig. 219.



Aber selbst wenn die gegenseitige Annäherung oder Entfernung zwischen einem Fixstern und der Erde von hinlänglicher Geschwindigkeit wäre, so liesse sich dadurch wohl eine Farbenveränderung monochromatischer, aber durchaus nicht eine Farbenveränderung weisser Lichtquellen erklären. Nehmen wir z. B. an, die Geschwindigkeit eines Sternes, welcher weisses Licht aussendet, sei gross genug, um sein Roth für uns in Orange, sein Orange in Gelb u. s. w., sein Violett in das unserem Gesichtssinne nicht wahrnehmbare Ultraviolett zu verwandeln, so würde das verschwundene Roth durch die Bewegung aus dem Ultraroth wieder hergestellt werden, das verwandelte Spectrum würde also wieder aus denselben Farben bestehen, wie das ursprüngliche, wir würden also ohne Prisma nach wie vor den Anblick eines weissen Sternes haben.

Wenn überhaupt eine relative Bewegung der Erde und der Fixsterne irgend einen Einfluss auf die Lichterscheinung der letzteren hat, so kann darüber nur die Spectralanalyse Aufschluss geben. Wenn bei hinreichend rascher Annäherung etwa das Gelb bei der Linie D in Grün verwandelt würde, so würde nun die Doppellinie D im Grün statt im Gelb zum Vorschein kommen, es müssten also alle dunklen Linien des Spectrums gegen das violette Ende hin verschoben werden. Die ursprüngliche Lage dieser Linien, wie sie der Geschwindigkeit Null entspricht, wird aber durch ein gleichzeitig beobachtetes irdisches Spectrum, z. B. durch das einer Natronflamme, gegeben.

Huggins hat nun mit einem weit stärkeren als dem oben beschriebenen Apparate eine praktische Ausführung dieser Idee versucht, und allerdings Andeutungen einer solchen Verschiebung, wenn auch noch keineswegs ein vollkommen sicheres Resultat erhalten. Es kann dies nicht auffallen, wenn man bedenkt,

dass die Geschwindigkeit der Annäherung oder Entfernung zwischen der Erde und einem Fixstern 43 geographische Meilen in der Secunde betragen muss (die Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn beträgt nicht ganz fünf Meilen), um die Fraunhofer'schen Linien nur um den Abstand der beiden D-Linien zu verschieben. Bei der Mehrzahl der Sterne wird man aber höchstens $^1/_{10}$ dieser Geschwindigkeit erwarten dürfen.

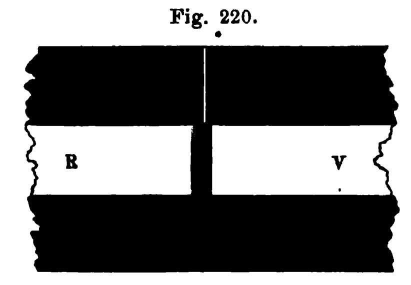
Dass wirklich die Entfernung eines Sternes von der Erde um 43 Meilen in der Secunde zunehmen müsste, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden D-Linien zu bewirken, geht aus folgender Betrachtung hervor. — Die Wellenlänge der brechbareren D-Linie ist nach Angström 5889, die der anderen ist 5895 milliontel Millimeter. Die Geschwindigkeit des Lichtes, 42 000 Meilen in der Secunde, wie in einem der nächsten Paragraphen gezeigt werden soll, müsste nun durch die Geschwindigkeit x, mit welcher sich die Erde vom Sterne entfernt, im Verhältniss von 5889 zu 5895 vergrössert erscheinen, um eine Verschiebung der Spectrallinien um den Abstand der beiden D-Linien zu bewirken; wir haben also

$$5889 : 5895 = 42\,000 : 42\,000 + x,$$

woraus sich $x = 43$ ergiebt.

Das von Huggins erhaltene Resultat bestand übrigens in Folgendem: Die F-Linie des Siriusspectrums erscheint gegen die entsprechende helle Linie des Wasserstoffspectrums einer Geissler'schen Röhre stark in die Breite gezogen. Eine solche Verbreiterung zeigt übrigens auch die fragliche helle Linie des Wasserstoffspectrums, wenn der elektrische Funken nicht durch verdünntes Wasserstoffgas, sondern durch solches hindurchschlägt, welches sich unter stärkerem Druck befindet; es fällt aber die scharfe helle Linie des verdünnten Wasserstoffgases mit der Mitte des hellen Streifens im Spectrum des dichteren Gases zusammen. Nicht so bei der breiteren F-Linie des Siriusspectrums, welche in der That etwas gegen das rothe Ende des Spectrums hin verschoben erscheint, wie man in Fig. 220 sieht. Huggins schätzte diese Verschiebung höchstens auf $^1/_4$ bis $^1/_3$ des Abstandes der beiden D-Linien, woraus zu schliessen wäre, dass die Entfernung zwischen Erde und Sirius um ungefähr 10 geographische Meilen in der Secunde zunehme, was einer Verlängerung der Wellenlänge um 0,15 milliontel Millimeter entspricht. Da aber zur Zeit, in welcher Huggins seine Beobachtung machte, die Erde in ihrer Bahn sich um drei Meilen in der Secunde vom Sirius weg bewegte, so bleibt noch eine Geschwindigkeit von ungefähr sieben Meilen in der Secunde übrig, mit welcher sich Sirius von unserem Sonnensystem entfernt.

Fig. 220.



Ein Apparat von grösserer Vollkommenheit, als der von Huggins benutzte, ist von Zöllner vorgeschlagen worden, und mit dem Namen des Reversionsspectroskopes bezeichnet.

Bei diesem Instrumente sind zwei Amici'sche Prismensysteme so zusammengestellt, wie Fig. 221 andeutet, dass also die Farben im Spectrum des einen in entgegengesetzter Richtung auf einander folgen, wie im Spectrum des anderen. Durch eine hier nicht näher zu beschreibende Vorrichtung kann nun bewirkt werden, dass das Spectrum, welches das eine Prismensystem von einer entfernten Lichtquelle entwirft, gerade über dem durch das andere System erzeugten Spectrum derselben Lichtquelle steht. Findet nun durch die oben besprochene kosmische Bewegung eine Verschiebung der Spectrallinien statt, so müsste dieselbe in dem einen Spectrum die entgegengesetzte Richtung haben wie im anderen und deshalb leichter bemerkbar und messbar sein. Hätte man z. B. das Instrument so gestellt, dass die F-Linie des Sonnenspectrums in einem Spectrum genau in die Verlängerung des anderen fällt, so müssten bei Beobachtung eines Sternspectrums in Folge der kosmischen Bewegung die beiden F-Linien auseinander treten (Pogg. Ann. CXXXVIII).

Fig. 221.

Benutzt man aber zur vorherigen Einstellung der F-Linien das Sonnenspectrum selbst, so muss man den Apparat auf die Mitte der Sonne richten, da bei den Rändern schon Verschiebungen der Linien in Folge der Rotation der Sonne um ihre Axe eintreten können.

Bei Weitem die genaueste Methode zur Bestimmung der kosmischen Bewegung der Gestirne bietet die Anwendung der Photographie dar. Wenn nämlich das Spectrum von Gestirnen mit sehr vollkommenen Apparaten photographirt wird, so treten in dem Bilde bei genügend langer Expositionszeit sehr viele feine Linien hervor, deren Lage mit grosser Schärfe ermittelt werden kann, und welche bei directer Beobachtung nicht wahrgenommen werden können. So hat Scheiner z. B. im Spectrum des Sirius allein 43 Linien ihrer Lage nach genau messen können, welche sämmtlich dem Eisenspectrum angehören, und in dem Spectrum der Capella sind zwischen 412,4 und 463,8 milliontel Millimeter Wellenlänge 255 Linien mit Linien des Sonnenspectrums identificirt. Von Vogel und Scheiner sind auf diese Weise die Spectren sehr vieler Fixsterne untersucht, und die Geschwindigkeit ihrer Bewegung im Visionsradius abgeleitet. Die Methode hat das Eigenthümliche, dass sie ganz unabhängig ist von der grösseren oder geringeren Entfernung des beobachteten Gestirnes von der Erde, und demnach bei den entferntesten Gestirnen ebenso zuverlässige Resultate erzielt, wie bei näher befindlichen. Ein besonderes Interesse aber hat die Anwendung der Methode auf physische Doppelsterne, die sich um ein gemeinsames Gravitationscentrum bewegen, ja, es haben auf diesem Wege Sterne als Doppelsterne nachgewiesen werden können, die bei directer Beobachtung nur einfach er-

scheinen. Wenn nämlich ein Stern einen dunklen Begleiter hat, so werden diese beiden Sterne um ihren gemeinsamen Schwerpunkt eine Bahn beschreiben, und, falls nicht die Bahnebene gerade senkrecht gegen unsere Gesichtslinie liegt, sich abwechselnd von uns entfernen und sich uns nähern. In dem Spectrum des sichtbaren Sternes wird daher eine Verschiebung der dunklen Linien bald nach der einen und bald nach der anderen Seite erfolgen, und eine genaue Beobachtung dieser Verschiebungen wird die Umlaufszeit des Sternes in seiner Bahn ergeben. So hat sich aus photographischen Aufnahmen des Spectrums des veränderlichen Sternes Algol, die auf dem astrophysikalischen Observatorium zu Potsdam gemacht sind, ergeben, dass die von Pickering aufgestellte, in §. 131 erwähnte Ursache des Lichtwechsels dieses Sternes in der That der Wirklichkeit entspricht; die Beobachtungen von Vogel und Scheiner haben ergeben, dass Algol sich vor seiner Verfinsterung von uns entfernt, sich dagegen nach der Verfinsterung uns wieder nähert. Für den dunklen Begleiter findet natürlich die entgegengesetzte Bewegung statt. Die grösste Geschwindigkeit Algols in der Richtung des Visionsradius beträgt 5,7 geographische Meilen in der Secunde, und dies würde also, da die Ebene der Bahn gegen die Gesichtslinie nur äusserst wenig geneigt sein kann, durchweg seine Geschwindigkeit in der Bahnbewegung sein, wenn wir annehmen könnten, dass die Bahn ein Kreis ist. Unter dieser Voraussetzung können wir aber auch die Dimensionen der Bahn des Algol berechnen. Denn seine Umlaufszeit ist gleich der Periode des Lichtwechsels oder gleich 2 Tagen 20 Stunden 48,9 Minuten oder gleich 247 734 Secunden. Da aber der Stern in einer Secunde 5,7 Meilen durchläuft, so ist der Umfang seiner Bahn gleich 5,7 × 247 734 Meilen = 1 412 083,8 Meilen, woraus sich der Radius der Bahn zu 225 000 Meilen ergiebt. Wir hatten ferner gefunden, dass der Radius des Begleiters = 0,764 des Radius des Algol betrüge; danach ergiebt sich, beide Körper als kugelförmig vorausgesetzt, das Volumen des Begleiters ungefähr gleich der Hälfte des Volumens des Hauptsternes; und nehmen wir die Dichtigkeit beider Gestirne als gleich an, so würde dies auch das Verhältniss beider Massen sein. Dann muss aber der Begleiter doppelt so weit vom Schwerpunkte entfernt liegen als der Hauptstern, und wir bekommen die gegenseitige Entfernung beider Sterne zu 675 000 Meilen, oder ungefähr 5 Millionen Kilometern, während die Entfernung des der Sonne am nächsten befindlichen Planeten Mercur von der Sonne 58 Millionen Kilometer beträgt.

Ausserdem sind wir aber auch im Stande, die Summe der Massen der beiden Gestirne mit Hülfe der Gleichung (A), §. 105 zu berechnen.

Es sei die Masse des Algol $= M$, die seines Begleiters $= m$, die der Sonne $= M'$ und die der Erde $= m'$; ferner die Umlaufszeit des Algol $= T$, die der Erde $= T'$, die Entfernung des Algol von seinem Begleiter $= R$ und die halbe grosse Axe der Erdbahn $= R'$, so haben wir in der Gleichung (A) zu setzen:

$$T = 2{,}8673 \text{ Tagen},$$
$$T' = 365{,}256 \text{ „}$$
$$R = 5 \text{ Millionen Kilometer},$$
$$R' = 149 \text{ „ „}$$

und erhalten

$$\frac{M + m}{M' + m'} = \frac{T'^2 R^3}{T^2 R'^3} = 0{,}613.$$

Da die Masse m' der Erde verschwindend klein gegen die der Sonne ist, so finden wir, dass die Summe der Massen der beiden Algol-Sterne etwa 0,6 der Sonnenmasse beträgt, und da die Masse des hellen Sternes von uns doppelt so gross angenommen wurde, wie die des dunklen Begleiters, so ergeben sich die Massen der beiden Sterne resp. zu 0,4 und 0,2 der Sonnenmasse.

Als Vogel im April 1889 zwei photographische Aufnahmen des Spectrums von α Virginis (Spica) machte, fand er eine ungewöhnlich starke Verschiebung der Wasserstofflinien in der Richtung nach dem Violett. Eine dritte Aufnahme, welche zwei Tage später gemacht wurde, zeigte dagegen eine Verschiebung derselben Linien nach Roth. Weitere Untersuchungen haben ergeben, dass auch dieser Stern einen unsichtbaren Begleiter hat, und dass beide eine Bahn um ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben. Die Periode ergab sich hier zu 4 Tagen und 0,3 Stunden, und die grösste Geschwindigkeit im Visionsradius zu 12 geographischen Meilen. Unter der Voraussetzung, dass die Bahn kreisförmig und ihre Ebene nicht stark gegen die Gesichtslinie geneigt ist, ergiebt sich auf ähnliche Weise, wie wir bei Algol gefunden haben, der Abstand des sichtbaren Sternes vom gemeinsamen Schwerpunkte zu 662 000 geographischen Meilen. Macht man die weitere Voraussetzung, dass der Begleiter die gleiche Masse wie der sichtbare Stern hat, so findet sich die Masse eines jeden der beiden Körper zu etwas mehr als der Sonnenmasse. Auch bei dem Sterne β Orionis haben sich periodische Bewegungserscheinungen ergeben, der Betrag derselben hat sich aber nicht mit Sicherheit ableiten lassen.

Die Duplicität dieser letztgenannten Sterne ist also aus den periodischen Verschiebungen der Spectrallinien erkannt worden, ohne dass die Sterne mit dem Fernrohr als doppelt gesehen werden können, weil die Begleiter eine zu geringe Lichtstärke haben. Es giebt aber bekanntlich viele Doppelsterne, die deutlich als solche erkannt werden können, und bei welchen jeder der Componenten ein deutlich wahrnehmbares Spectrum zeigte. Im Allgemeinen werden diese Spectren, wenn die Componenten sehr nahe zusammenstehen, nicht von einander zu trennen sein; wenn sie sich aber um ihren gemeinsamen Schwerpunkt bewegen, so wird, falls die Bahnebene nicht gerade senkrecht zu der Gesichtslinie steht, abwechselnd der eine der Sterne sich der Erde nähern, während der andere sich von ihr entfernt. Es werden also die Spectrallinien der beiden

Spectra Verschiebungen, aber nach verschiedenen Richtungen erfahren, und dies wird sich dadurch kenntlich machen, dass die Linien des gemeinsamen Spectrums sich zu Zeiten verdoppeln. Solche Verdoppelungen der Spectrallinien werden auch eintreten, wenn beide Componenten so nahe zusammenstehen, dass sie sich im Fernrohr nicht mehr trennen lassen, wenn nur jeder derselben so hell ist, dass er ein wahrnehmbares Spectrum ergiebt. In der That haben sich manche Sterne nur durch die zeitweilige Verdoppelung ihrer Spectrallinien als Doppelsterne erwiesen, während ihre Duplicität auf anderem Wege nicht erkannt werden konnte.

Die Spectra der sogenannten planetarischen Nebel bestehen aus einzelnen hellen Linien. Diese Spectra, sowie überhaupt diejenigen der

Fig. 222.



Gasnebel sind im Verhältniss zu der grossen Lichtschwäche dieser Nebel leicht zu sehen, weil sich das gesammte Licht hier auf wenige helle Linien concentrirt. So ist denn auch von Keeler bei mehreren planetarischen Nebeln eine Bewegung in der Gesichtslinie nachgewiesen worden.

Durch die Verschiebung der Fraunhofer'schen Linien hat Lockyer nun auch die Bewegung von Gasmassen in der Sonnenatmosphäre constatirt. Wurde nämlich das Telespectroskop auf Flecken in der Mitte der Sonnenscheibe gerichtet, so zeigte die Wasserstofflinie F grosse Unregelmässigkeiten. An einigen Stellen erschien sie dunkel auf hellem, an anderen Stellen dagegen hell auf dunklem Grunde. In den hellen Partien sowohl wie in den dunklen zeigte sie sich theilweise nicht nur breiter, sondern auch entweder nach der rothen oder nach der violetten Seite des Spectrums hin gebogen, wie dies Fig. 222 anschaulich machen soll. — Aehnliche Biegungen zeigte auch die rothe Wasserstofflinie C, an welcher dagegen die Veränderungen in der Breite kaum wahrzunehmen sind.

Aus der Grösse der Ausbiegung, wie sie in verschiedenen Fällen beobachtet wurde, ergab sich eine Geschwindigkeit von 8 bis 25 Meilen für den aufsteigenden oder niederstürzenden Gasstrom, ein Resultat, welches mit dem in §. 127 besprochenen Resultate der Zöllner'schen Rechnung sehr gut harmonirt.

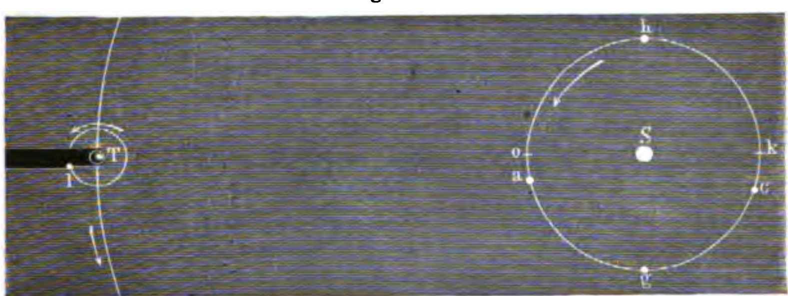
Während in der Mitte der Sonnenscheibe nur die vertical rasch aufsteigenden oder niederstürzenden Gasströme eine Verschiebung von Fraunhofer'schen Linien bewirken können, geschieht dies am Sonnenrande nur durch Strömungen, welche parallel der Sonnenoberfläche von der Erde weg oder gegen die Erde hin gerichtet sind. Solche Bewegungen in der Sonnenatmosphäre werden durch das Spectroskop dadurch merk-

lich gemacht, dass die hellen Linien der Chromosphäre nicht die geradlinigen Fortsetzungen der entsprechenden dunklen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenrandes sind, sondern dass sie etwas nach der einen oder anderen Seite hin abgebogen erscheinen. Lockyer hat solche Verschiebungen beobachtet, welche einer Geschwindigkeit des Gasstromes von acht bis neun Meilen in der Secunde entsprechen.

Während das Spectroskop für eine bestimmte Stelle des Sonnenrandes einen sich der Erde nähernden Gasstrom anzeigte, ergab sich, dass an einer 340 Meilen davon entfernten Stelle des Sonnenrandes ein sich mit gleicher Geschwindigkeit von der Erde entfernender Gasstrom herrschte, man hatte es also hier offenbar mit einem gewaltigen Wirbelsturm (Cyklon) von 340 Meilen Durchmesser zu thun.

Geschwindigkeit des Lichtes. Vergeblich hatten die Mitglieder der florentinischen Akademie durch Versuche auf der Erde die Geschwindigkeit des Lichtes zu ermitteln versucht. Erst dem dänischen 141

Fig. 223.



Astronomen Römer gelang es durch seine fleissigen Beobachtungen der Jupitertrabanten, die er in den Jahren 1675 und 1676 mit Cassini dem Aelteren auf der Sternwarte zu Paris anstellte, dieselbe zu bestimmen.

In §. 84 sind bereits die Verfinsterungen der Jupitertrabanten besprochen worden. Die Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, ergiebt sich in folgender Weise aus einer genauen Beobachtung der Momente des Eintritts oder des Austrittes der Trabanten in oder aus dem Schatten des Jupiter.

In Fig. 223 stelle S die Sonne, der um S gezogene Kreis die Erdbahn und T den Jupiter mit der Bahn eines seiner Trabanten dar. Während sich die Erde von o bis k bewegt, also während der Zeit zwischen der Opposition des Jupiter und der nächsten Conjunction können wir von der Erde aus sehen, wie die Trabanten auf der Ostseite des Schattens aus demselben austreten; während der Zeit zwischen der Conjunction aber bis zur nächsten Opposition können wir die Eintritte des Trabanten in den Jupiterschatten beobachten; während dieser Zeit sehen wir den Trabanten westlich vom Jupiter verschwinden.

Ermittelt man die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden **Austritten** eines und desselben Trabanten, etwa des ersten, vergeht, so findet man sie in verschiedenen Perioden nicht gleich. Während der Oppositionsperiode, also wenn die Erde in der Nähe von *o* steht, oder während der Conjunctionsperiode, wenn also die Erde in der Nähe von *k* steht, ergiebt sich die Zeit, welche zwischen zwei auf einander folgenden Austritten oder zwei auf einander folgenden Eintritten vergeht, **kürzer**, als zur Zeit der ersten Quadratur, wenn die Erde bei *g*, und **länger**, als zur Zeit der zweiten Quadratur, wenn die Erde in der Nähe von *h* steht.

Dies ist nun eine Folge davon, dass sich das Licht nicht momentan fortpflanzt, sondern dass es zur Durchlaufung grösserer Räume eine messbare Zeit gebraucht.

Zur Zeit der Opposition oder Conjunction bewegt sich die Erde in Beziehung auf den Jupiter in einer Weise, dass sie sich demselben weder merklich nähert, noch sich von demselben entfernt; in diesen Perioden ist also die zwischen zwei auf einander folgenden Ein- und Austritten vergehende Zeit nahezu die Umlaufszeit des Trabanten um den Jupiter.

In der Nähe der Quadratur *g* entfernt sich die Erde in gerader Linie von dem Jupiter und die zwischen zwei auf einander folgenden beobachteten Austritten vergehende Zeit ist also gleich der Umlaufszeit des Trabanten + der Zeit, welche das Licht zur Durchlaufung des Weges gebraucht, um welchen sich unterdessen die Erde vom Jupiter entfernt hat.

Zur Zeit derjenigen Quadratur, in welcher man die Eintritte der Trabanten in den Jupiterschatten sehen kann, also wenn sich die Erde ungefähr in *h* befindet, nähert sie sich fast in gerader Linie dem Jupiter, und demnach ist die Zeit, welche zwischen den beiden Momenten vergeht, in welchen man während dieser Periode zwei auf einander folgende Eintritte beobachtet, gleich der Umlaufszeit des Trabanten, minus der Zeit, welche das Licht zum Durchlaufen des Weges gebraucht, um welchen sich während dieses Umlaufes die Erde dem Jupiter genähert hat.

Ein Beispiel mag dies erläutern.

Im Jahre 1851 wurde alsbald nach der Opposition ein Austritt des ersten Trabanten beobachtet am 11. April $15^h\ 6^m\ 36{,}3^s$; der nächste am 13. April $9^h\ 35^m\ 3{,}0^s$. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab, so ergiebt sich für die Umlaufszeit des ersten Trabanten

42 Stunden $28^m\ 26{,}7^s$.

Zur Zeit der nächsten Quadratur wurde ein Austritt beobachtet am 14. Juli $10^h\ 21^m\ 50{,}3^s$ und ein anderer, und zwar von diesem an gerechnet der neunte, am 30. Juli $8^h\ 39^m\ 42^s$. Zieht man die erstere Zeit von der letzteren ab und dividirt man durch 9, so ergiebt sich für die zwischen zwei auf einander folgenden Austritten liegende Zeit

42 Stunden $28^m\ 39^s$.

Zieht man davon die Umlaufszeit ab, wie sie aus den Aprilbeobachtungen abgeleitet wurde, so ergiebt sich 12,3 Secunden als die Zeit, welche das Licht gebraucht, um den Raum zu durchlaufen, um welchen sich in der

Periode der Quadratur die Erde von dem Jupiter entfernt, während der erste Trabant einen Umlauf vollendet.

In einer Secunde geht die Erde in ihrer Bahn um 4 geographische Meilen vorwärts; während $42^1/_2$ Stunden, der Umlaufszeit des ersten Trabanten, durchläuft sie also einen Raum von 612 000 Meilen, und diesen Raum durchläuft das Licht in 12,3 Secunden, in 1 Secunde also einen Weg von 49 700 Meilen.

Dies Resultat ist jedoch nicht genau, wie sich denn überhaupt in der angegebenen Weise aus einzelnen Beobachtungen deshalb keine genaueren Resultate ziehen lassen, weil die Trabanten nicht immer genau durch die Mitte des Jupiterschatten gehen und deshalb die Aus- und Eintritte bald etwas früher, bald etwas später erfolgen, als wenn die Trabanten stets an derselben Stelle den Jupiterschatten passirten.

Die genaue Umlaufszeit des Trabanten kann nur aus einer grösseren Reihe von Beobachtungen mit Genauigkeit ermittelt werden. Sie ist für den ersten Trabanten 42 Stunden 28^m 35^s.

Kennt man einmal die Umlaufszeit des Trabanten, kennt man ferner den Moment, in welchem kurz nach der Opposition, als sich etwa die Erde in *a* befand, ein Austritt desselben beobachtet wurde, so kann man berechnen, in welchem Momente, von dem erwähnten an gerechnet, der 100ste Austritt desselben Trabanten beobachtet werden müsste, vorausgesetzt, dass sich das Licht momentan fortpflanzte. (Bei dieser Berechnung darf aber natürlich die Fortbewegung des Jupiter und also auch die Veränderung in der Lage seines Schattens nicht unberücksichtigt bleiben.) Während dieser 100 Umläufe hat sich aber die Erde ungefähr bis *c* fortbewegt, und wenn man nun den Austritt beobachten will, so findet man, dass derselbe später, und zwar ungefähr um 15 Minuten nach dem berechneten Moment stattfindet. Die Zeit nun, welche zwischen dem berechneten Moment und dem Zeitpunkte vergeht, in welchem der Austritt wirklich beobachtet wird, ist die Zeit, welche das Licht nöthig hat, um die Entfernung zu durchlaufen, um welche die Erde jetzt, da sie sich in *c* befindet, weiter von dem Jupiter absteht, als da sie noch in *a* war.

Man findet nun die Geschwindigkeit des Lichtes, wenn man die Differenz der Entfernungen durch die beobachtete Verspätung dividirt. Es ergiebt sich auf diese Weise, dass das Licht in einer Secunde ungefähr einen Weg von 42 000 Meilen zurücklegt, und dass es, um von der Sonne zur Erde zu gelangen, 8^m 13^s bedarf.

Auf der anderen Hälfte der Erdbahn, zwischen einer Conjunction und der nächsten Opposition werden die Eintritte vor den Momenten eintreten, welche man in obiger Weise von einem Eintritt unmittelbar nach der Conjunction ausgehend berechnet hat.

Bereits in §. 121 haben wir die Entfernung derjenigen Sterne kennen gelernt, welche uns am nächsten sind; da wir nun auch die Geschwindigkeit kennen, mit welcher sich das Licht im Weltraume fortpflanzt, so lässt sich leicht berechnen, welche Zeit das Licht gebraucht,

um von einem dieser uns zunächst gelegenen Fixsterne auf die Erde zu gelangen. Es ergiebt sich für

α Centauri	4 Jahre	η Herculis	8 Jahre
Lal. 21185	6,5 „	Sirius	8 „
61 Cygni	8 „		

Diejenige Entfernung, welche das Licht in einem Jahre durchläuft, pflegt man ein Lichtjahr zu nennen. Die Entfernung des Sirius von der Sonne beträgt also nach dieser Bezeichnung acht Lichtjahre.

Wenn also plötzlich das Licht des Sirius verlöschen würde, so würden wir ihn doch noch 8 Jahre nach diesem Ereigniss am Himmel glänzen sehen.

142 **Aberration des Lichtes.** In der Absicht, eine Parallaxe der Fixsterne aufzufinden, hatte Bradley im Jahre 1725 eine Reihe genauer Fixsternbeobachtungen begonnen. Vorzüglich war es der Stern γ im Kopfe des Drachen, den er mehrere Jahre hindurch mit grosser Aufmerksamkeit verfolgte. Er fand bald, dass weder die Länge noch die Breite dieses Sternes unverändert blieb. Im Juni, zur Zeit der Opposition mit der Sonne, war seine Länge stets am grössten, im December dagegen, also zur Zeit der Conjunction, war sie am kleinsten; die Differenz der grössten und kleinsten Länge betrug 40,5 Secunden; kurz, der Stern beschrieb während eines Jahres am Himmel eine kleine Ellipse, deren grosse Axe, mit der Ekliptik parallel, 40,5 Secunden betrug.

Eine ganz ähnliche, scheinbare Bewegung fand sich nun bei allen anderen Fixsternen. Für alle war die grosse Axe der Ellipse mit der Ekliptik parallel, und hatte stets die gleiche Grösse von 40,5 Secunden; für die Sterne, die in der Nähe des Poles der Ekliptik liegen, ist die Bewegung fast kreisförmig, während dagegen die kleine Axe der Ellipse um so kleiner wird, je näher die Sterne der Ekliptik stehen; sie wird endlich Null für die Sterne, die auf der Ekliptik selbst liegen; diese haben also bloss eine in der Ebene der Ekliptik hin- und hergehende Bewegung von $40,5^s$.

Bradley erkannte richtig als Ursache dieser Erscheinung, die er mit dem Namen der Aberration bezeichnete, das Zusammenwirken der Geschwindigkeiten des Lichtes und der Erde. Um die Sache anschaulich zu machen, wollen wir einen Stern betrachten, der ungefähr gleiche Länge mit γ Draconis hat, aber auf der Ekliptik selbst liegt, also den Punkt a, Fig. 224.

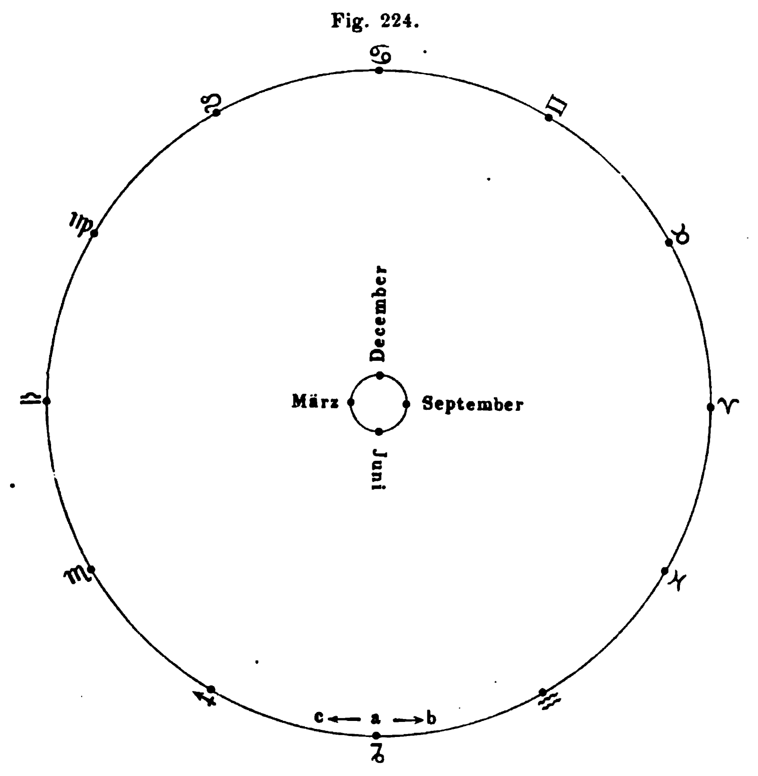
In dieser Figur bezeichnet nämlich der kleine Kreis die Erdbahn, der grössere concentrische den Thierkreis, gegen dessen Durchmesser der Durchmesser der Erdbahn freilich verschwindend klein sein sollte. Im Juni wird nun der in a befindliche Stern durch die Aberration um 20^s in der Richtung nach b hin, im December wird er ebenso weit in der Richtung nach c hin verrückt erscheinen.

Daraus geht nun zunächst hervor, dass man es hier nicht mit einer Wirkung der Parallaxe zu thun hat. In Folge der Parallaxe nämlich,

wenn eine solche merklich wäre, müsste unser Stern im März seine grösste, im September seine kleinste, im Juni und December dagegen seine mittlere Länge haben.

Gehen wir nun zur Erklärung der Erscheinung über. Im März bewegt sich die Erde gerade gegen den Punkt *a* hin, im September entfernt sie sich in gerader Linie von demselben, in dieser Zeit wird man also den Stern an seinem wahren Orte erblicken; im Juni und December dagegen macht die Erdbahn gerade einen rechten Winkel mit den von *a* zu ihr kommenden Lichtstrahlen.

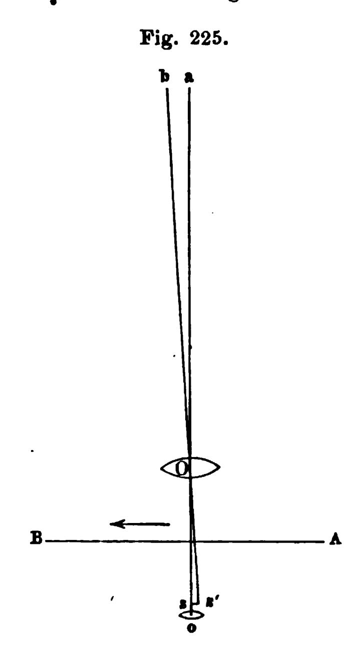
Fig. 224.



Es bezeichne *AB*, Fig. 225 (a. f. S.), die Richtung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn, *O* sei das Objectiv, *o* das Ocular, *s* der Mittelpunkt des Fadenkreuzes eines Fernrohres, welches auf einen in der Richtung *Oa* sichtbaren Stern eingestellt ist. Wir wollen uns zunächst vorstellen, dass die Erde in ihrer Bahn stillstände, und das Bild des Sternes genau in *s* erschiene. Wenn sich nun die Erde in ihrer Bahn fortbewegt, so wird in der Zeit, welche das Licht gebraucht, um von dem Objectiv *O* nach dem Fadenkreuz *s* zu gelangen, die Erde sich weiter bewegen, und der Lichtstrahl wird also das Fadenkreuz nicht in *s*, sondern etwas seitwärts, etwa in *s'* treffen. Der Beobachter wird also gezwungen sein,

wenn er das Bild des Sternes auf die Mitte des Fadenkreuzes stellen will, das Fernrohr um den Winkel sOs' zu drehen, d. h. der Stern erscheint ihm nicht in der Richtung sa, in welcher er sich wirklich befindet, sondern in der Richtung $s'b$, oder in einer Richtung verschoben, welche der Richtung der Bewegung der Erde entspricht. Der Winkel, um den die Richtung verändert erscheint, hängt offenbar ab von der Geschwindigkeit der Erde in ihrer Bahn und der Geschwindigkeit des Lichtes. Diese Geschwindigkeiten verhalten sich wie die Linien ss' und sO, und wenn, wie wir annehmen, die Richtung der Erdbewegung senkrecht gegen die Richtung nach dem Sterne ist, so ist die Tangente des Winkels $sOs' = \frac{ss'}{sO}$ gleich der Geschwindigkeit der Erdbewegung, dividirt durch die Geschwindigkeit des Lichtes. Nun ist der Winkel sOs', wie genaue Beobachtungen ergeben haben, gleich 20,445″, die Geschwindigkeit der Erde gleich 3,9895 geogr. Meilen, es ist also:

Fig. 225.



$$sO = \frac{ss'}{tg\,20{,}445''} = \frac{3{,}9895}{0{,}00009912} = 40\,249$$

geogr. Meilen oder gleich 298 667 km.

Die nahe Uebereinstimmung dieses Resultates mit dem Werthe, welchen Cornu durch directe Messung gefunden hat, liefert uns einen Beweis für die Richtigkeit des Princips, aus welchem die Aberrationserscheinung erklärt worden ist.

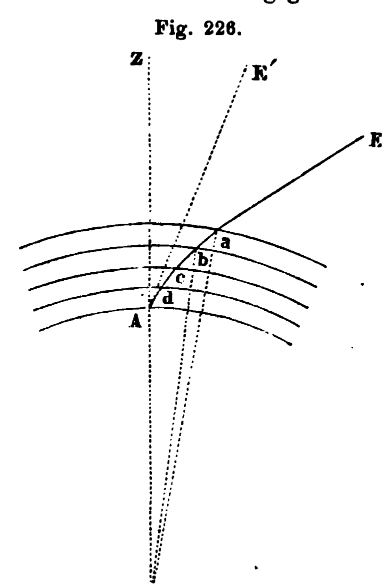
Der Winkel von 20,445″, um welchen ein Fixstern nach der Richtung hin verschoben erscheint, in welcher sich gerade die Erde bewegt, wenn die vom Sterne kommenden Strahlen rechtwinklig auf die Erdbahn fallen, heisst der Aberrationswinkel. Der Stern, welcher im Pol der Ekliptik steht, sendet seine Strahlen rechtwinklig auf alle Punkte der Erdbahn, er wird also von seinem wahren Orte stets um 20,445″ verrückt erscheinen, und zwar immer in der Richtung, mit welcher sich gerade die Erde bewegt; dieser Stern muss also am Himmel im Laufe eines Jahres einen kleinen Kreis von 20,445″ Halbmesser um seinen wahren Ort beschreiben. Dagegen ist leicht zu sehen, dass alle Fixsterne, welche nicht im Pole der Ekliptik stehen, scheinbar elliptische Bahnen beschreiben müssen, welche alle eine gleich grosse Axe haben, deren kleine Axe aber im Verhältniss des Cosinus der Breite des Sterns steht, und also in der Ekliptik selbst gleich Null wird.

Zweites Capitel.

Atmosphärische Lichterscheinungen.

Atmosphärische Refraction. Wenn von irgend einem Gestirne ein Lichtstrahl auf die Atmosphäre unserer Erde fällt, so wird er, den bekannten Brechungsgesetzen zufolge, von seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt; diese Ablenkung nimmt aber continuirlich zu, indem der Lichtstrahl allmählich in immer dichtere Luftschichten eindringt, und so kommt es, dass derselbe auf dem Wege durch die Atmosphäre bis zur Erdoberfläche eine krumme Linie beschreibt. 143

Fig. 226.



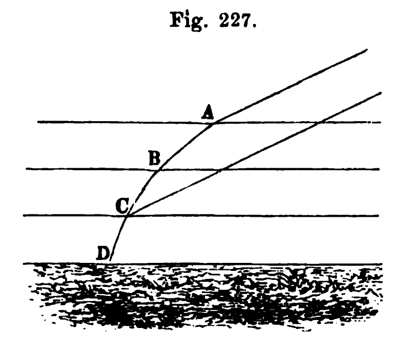
Um den ganzen Vorgang der atmosphärischen Refraction besser übersehen zu können, wollen wir annehmen, die ganze Atmosphäre sei in eine Reihe concentrischer Schichten getheilt, von denen jede ihrer ganzen Ausdehnung nach eine gleichförmige Dichtigkeit besitzt, aber dichter ist, als die nächst höhere und weniger dicht, als die nächst tiefere. Trifft nun ein Lichtstrahl *Ea*, Fig. 226, auf die oberste Schicht der Atmosphäre, so wird er in der Weise abgelenkt, dass er dem Einfallsloth *ao* genähert wird, er wird die oberste Schicht in der Richtung *ab* durchlaufen; in *b* auf eine dichtere Luftschicht treffend, erleidet der Strahl eine zweite Ablenkung in demselben Sinne u. s. w. und kommt endlich auf der Oberfläche der Erde bei *A* an, nachdem er die unterste Schicht der Atmosphäre in der Rich-

tung dA durchlaufen hat. In der Wirklichkeit ist aber nun $abcdA$ keine gebrochene Linie, sondern eine continuirliche Curve. Ein Beobachter, welcher sich in A befindet, wird offenbar denselben Eindruck haben, als ob das Gestirn, von welchem der Lichtstrahl ausgeht, sich in der Richtung der in A an die Curve gelegten Tangente AE' befände. Durch den Einfluss der atmosphärischen Refraction erscheinen also alle Gestirne dem Zenith näher gerückt, sie scheinen höher über dem Horizonte zu stehen, als es wirklich der Fall ist.

Die mit einem Höhenkreise gemachten Messungen geben uns also keineswegs die wahren Werthe der Zenithdistanz der Gestirne, sondern die durch die atmosphärische Refraction verminderte Zenithdistanz; um also den wahren Ort eines Gestirnes am Himmelsgewölbe zu bestimmen, muss man die Grösse der atmosphärischen Refraction kennen und dieselbe in Rechnung bringen.

Bei der verhältnissmässig geringen Höhe der Atmosphäre kann man ohne merklichen Fehler für alle Gestirne, welche mehr als 15⁰ über dem Horizonte stehen, von der Krümmung der Atmosphäre abstrahiren und sie aus lauter horizontalen Schichten bestehend betrachten. Mit Hülfe dieser Annahme lässt sich nun leicht die Grösse der atmosphärischen Refraction berechnen.

Fig. 227.



Die Physik lehrt uns, dass, wenn ein Lichtstrahl der Reihe nach verschiedene Schichten durchläuft, deren Grenzflächen sämmtlich eben und einander parallel sind, er in der letzten Schicht genau denselben Weg durchläuft, als ob alle Zwischenschichten fehlten und der Lichtstrahl in seiner ursprünglichen Richtung gleich auf diese letzte Schicht gefallen wäre, wie dies Fig. 227 erläutert. Die Richtung, in welcher das Licht eines Sternes unser Auge trifft, wird also dieselbe sein, als ob seine Strahlen unmittelbar aus dem luftleeren Himmelsraume auf eine Atmosphäre getroffen wären, deren Dichtigkeit so gross ist, wie die Dichtigkeit der Luft, in der wir uns gerade befinden.

Beim Uebergang eines Lichtstrahles aus dem leeren Raume in Luft von 0⁰ und einem Barometerstande von 760 mm ist der Brechungsexponent 1,000 294; bezeichnen wir also die wahre Zenithdistanz mit z, die durch die atmosphärische Refraction verkleinerte oder die scheinbare Zenithdistanz mit z', so ist:

$$\sin z = 1{,}000294 \sin z'.$$

Der Brechungsexponent der Luft ändert sich aber mit dem Barometerstande, der Temperatur u. s. w. Für einen Barometerstand von 760 mm und eine Temperatur von 10⁰ C. ist er 1,00028; für diesen

Werth des Brechungsexponenten der Luft enthält die folgende Tabelle für die scheinbaren Zenithdistanzen von fünf zu fünf Grad die entsprechenden Werthe der atmosphärischen Refraction, d. h. den Winkel, um welchen die wahre Zenithdistanz grösser ist als die scheinbare. Ausserdem ist noch die Refraction für 87° und 89° beigefügt worden, um zu zeigen, wie rasch dieselbe gegen den Horizont hin zunimmt.

Scheinbare Zenithdistanz	Atmosphärische Refraction	Scheinbare Zenithdistanz	Atmosphärische Refraction
5°	5,1″	55°	1′ 23,0″
10	10,3	60	1 40,6
15	15,6	65	2 4,3
20	21,2	70	2 38,6
25	27,2	75	3 33,9
30	33,6	80	5 18,9
35	40,8	85	9 49,8
40	48,8	87	14.21,8
45	58,2	89	24 36,7
50	1′ 9,3	90	35 24,2

Da sich die Grösse der atmosphärischen Brechung mit dem Barometerstande, der Temperatur und dem Feuchtigkeitszustande der Luft ändert, so muss man an den in obiger Tabelle enthaltenen Werthen noch eine den veränderten Umständen entsprechende Correction anbringen, auf deren nähere Besprechung wir aber hier nicht eingehen können.

In Folge der atmosphärischen Refraction sehen wir auch die Sonne noch vollständig über dem Horizonte, wenn der untere Rand derselben in der That schon 35′ unter denselben hinabgesunken ist; durch die Atmosphäre bleibt uns also des Abends die Sonne über zwei Zeitminuten länger sichtbar, als es ohne die Atmosphäre der Fall sein würde, und ebenso findet der scheinbare Sonnenaufgang um mehr als zwei Minuten früher statt als der wahre. Dies erklärt nun auch, dass man bei einer Mondfinsterniss Sonne und Mond zugleich über dem Horizonte sehen kann, wie es in der That der Fall ist, wenn die Mondfinsterniss zur Zeit des Sonnenaufganges oder des Sonnenunterganges stattfindet.

Die Kimmung. Eine merkliche Ablenkung von der geraden 144
Linie findet für die in Luft sich bewegenden Lichtstrahlen nicht allein in dem Falle statt, welchen wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben, in dem Falle nämlich, dass die von den Gestirnen kommenden Strahlen die Atmosphäre ihrer ganzen Höhe nach durchlaufen haben, sondern auch für Lichtstrahlen, welche von irdischen Gegenständen kommend,

nur den unteren Theil der Atmosphäre durchlaufen, hier aber Luftschichten passirt haben, welche in Folge ungleicher Erwärmung von merklich verschiedener Dichtigkeit sind. Wenn unter solchen Umständen die Lichtstrahlen von irdischen Gegenständen in krummen Linien ins Auge gelangen, so sehen wir sie in einer Richtung, welche von derjenigen abweicht, unter welcher wir sie gewöhnlich, d. h. bei möglichst gleichförmig erwärmter Luft, zu sehen gewohnt sind.

Eine derartige Erscheinung ist z. B. die folgende: Wenn man von Ramsgate aus mit dem Fernrohr nach Dover hinschaut, so erblickt man unter normalen Umständen nur die Spitzen der vier höchsten Thürme des Schlosses zu Dover. Der Rest des Gebäudes ist hinter einem Bergrücken verborgen, welcher ungefähr 12 englische Meilen weit vom Beobachter entfernt ist. Am 6. August 1806, Abends gegen 7 Uhr, war Vince sehr erstaunt, nicht allein die vier Thürme, sondern das ganze

Fig. 228.



Fig. 229.



Schloss bis zum Boden zu erblicken. Dies war offenbar eine Wirkung der atmosphärischen Refraction. Wegen der sehr ungleichen Erwärmung und Dichtigkeit waren die Luftstrahlen in krummer Linie ins Auge gelangt.

Derselbe Physiker hat noch ähnliche Erscheinungen beobachtet, indem er mit einem guten Teleskope die sich nähernden und entfernenden Schiffe betrachtete; so sah er z. B. eines Tages ein Schiff gerade am Horizonte; er konnte es ganz deutlich unterscheiden. Zu gleicher Zeit sah er aber auch gerade über demselben ein ganz regelmässiges, umgekehrtes Bild desselben, so dass die Spitzen der Masten des directen und des verkehrten Bildes zusammenstiessen, wie dies Fig. 228 dargestellt ist. Ein anderes Mal sah er von einem Schiffe, dessen Masten erst über dem Horizonte waren, zwei vollständige Bilder, Fig. 229, ein aufrechtes und darunter ein verkehrtes.

Solche Erscheinungen der ungewöhnlichen Brechung und Luftspiegelung, welche auf dem Meere öfter, z. B. besonders häufig in dem westlichen Theile der Ostsee beobachtet werden, sind unter dem Namen der Erhebung, des Seegesichtes oder der Kimmung bekannt. Scoresby

hatte in den grönländischen Meeren oft Gelegenheit, sie wahrzunehmen. Bald sah er entfernte Schiffe in verticaler Richtung verlängert oder zusammengedrückt, bald sah er doppelte Bilder, ein aufrechtes und ein verkehrtes von Schiffen, welche in einer Entfernung von 30 Seemeilen, also noch vollständig unter dem Horizonte waren. Alle diese Erscheinungen

Fig. 230.

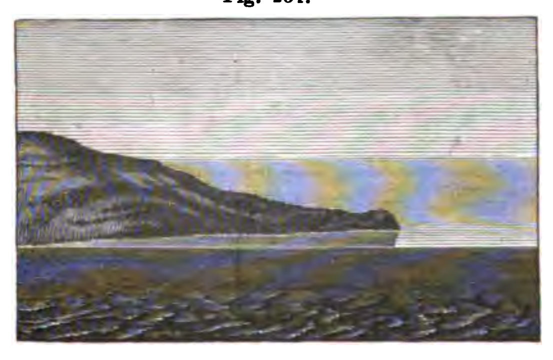


rühren nur von der ungleichen Temperatur und Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten her.

Die Erscheinung der Kimmung tritt häufig in der Weise ein, dass entferntere Gegenstände über den Meereshorizont erhoben und von ihm getrennt erscheinen, wie die Figuren 230, 231 und 232 (a. f. S.) zeigen.

Die Erscheinung rührt offenbar daher, dass die Dichtigkeit der unteren Luftschichten mit der Erhöhung über dem Boden ungewöhnlich

Fig. 231.

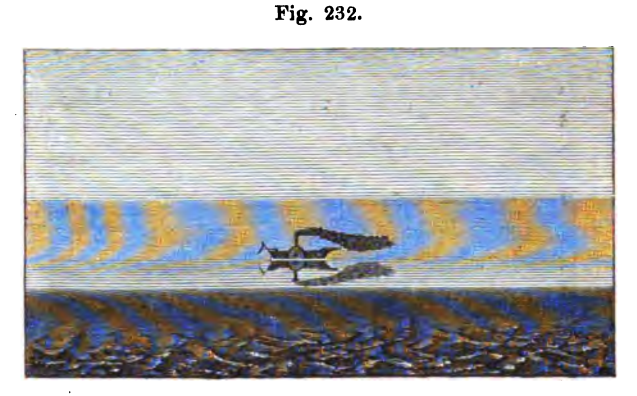


rasch abnimmt, so dass die vom Gegenstande aus ins Auge gelangenden Lichtstrahlen nicht eine gerade, sondern eine mehr oder weniger stark nach oben gewölbte Linie beschreiben. Es wird dies, wie Zech (Jelinek's Zeitschrift für Meteorologie, II. Bd.) richtig bemerkt, namentlich dann der Fall sein müssen, wenn bis zu einer gewissen Grenze die höheren Luftschichten wärmer sind als die tieferen. — Unter Umständen bringt die rasch nach oben abnehmende Dichtigkeit der Luft nicht allein eine

Erhebung, sondern auch eine im nächsten Paragraphen näher zu besprechende Luftspiegelung hervor, wie das in Fig. 228 dargestellte Beispiel zeigt.

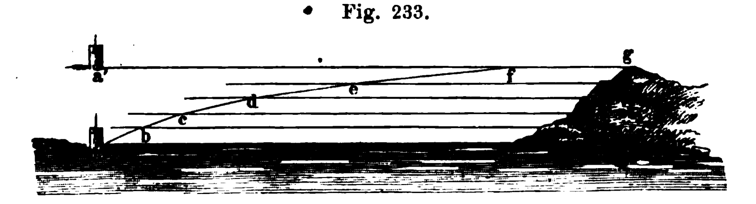
Die Figuren 233 und 234 mögen dazu dienen, die Erscheinung etwas näher zu untersuchen. Es sei *g*, Fig. 233, ein etwas erhöhter

Fig. 232.



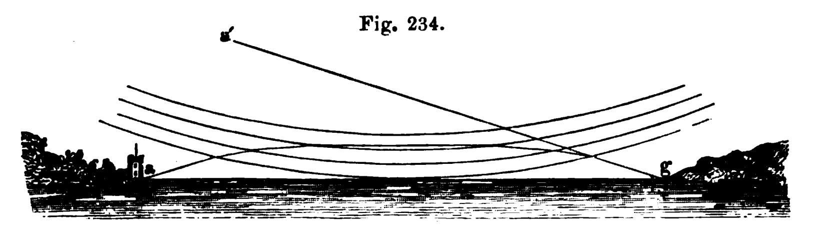
Standpunkt, von welchem aus man nach dem tiefer gelegenen Punkte *a* hinschauen kann. Ist nun die Luft zwischen *g* und *a*, wie es gewöhn-

Fig. 233.



lich der Fall ist, nahezu von gleicher Dichtigkeit, so wird ein Lichtstrahl in gerader Linie von *a* nach *g* gelangen können, von *g* aus gesehen

Fig. 234.



sieht man den Punkt *a* nach der Richtung *ga* hin, in welcher er sich wirklich befindet.

Unter Umständen kommt es aber vor, dass die etwas höheren Luftschichten wärmer sind als die tieferen, was dann zur Folge hat, dass die Dichtigkeit der Luft von unten nach oben ungewöhnlich schnell abnimmt. (Wir werden darauf später noch einmal zurückkommen.) Als-

dann wird ein von a ausgehender Lichtstrahl, welcher in b eine dünnere Luftschicht trifft, beim Eintritt in dieselbe vom Einfallsloth, also von der Verticalen entfernt, die Richtung bc erlangen; bei c abermals von der Verticalen entfernt, nimmt er die Richtung cd an; in d, e und f erfolgt eine ähnliche Ablenkung, so dass der Strahl endlich in der Richtung fg ins Auge gelangt, der in g befindliche Beobachter also den Punkt a bis a' gehoben erblickt.

Unter den eben betrachteten Umständen, d. h. wenn die Schichten gleicher Luftdichtigkeit stets vollkommen wagerecht sind, wird man von einem etwas erhöhten Standpunkte g einen tiefer gelegenen Gegenstand a höchstens bis zum Horizont von g gehoben sehen können. Um die Erhebung über den Horizont des Beobachters zu erklären, muss man annehmen, dass die Schichten gleicher Luftdichtigkeit nicht horizontal, sondern dass sie nach unten convex sind, wie es Fig. 234 andeutet.

Die eben besprochene Erhebung beobachtet man am Meere und an Landseen vorzugsweise in den frühen Morgenstunden heiterer Tage. Durch die nächtliche Strahlung sind Land und Wasser stark erkaltet, während die etwas höheren Luftschichten die höhere Temperatur des vorigen Tages nicht so schnell abgegeben haben. Nach Sonnenaufgang wird aber das Land durch die Sonnenstrahlen weit rascher erwärmt als das Wasser und dadurch ungefähr eine Krümmung der Schichten gleicher Luftdichtigkeit bewirkt, wie sie bei der Construction der Fig. 234 angenommen wurde.

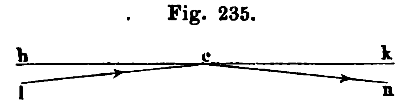
Die Bilder ferner Gegenstände, welche uns durch aussergewöhnliche atmosphärische Refraction und Luftspiegelung sichtbar werden, können uns aber, wenn die Dichtigkeit der verschiedenen Luftschichten eine unregelmässig wechselnde ist, nicht allein verzerrt, sondern auch in fortwährender Bewegung erscheinen, wie dies bei der unter dem Namen der Fata Morgana zu Neapel, zu Reggio und an den Küsten Siciliens bekannten Erscheinung der Fall ist. Auf einmal sieht man in grosser Entfernung in den Lüften Ruinen, Säulen, Schlösser, Paläste, kurz eine Menge von Gegenständen, deren Anblick sich fortwährend ändert. Das Volk strömt dann dem Ufer zu, um dieses sonderbare Schauspiel anzusehen. Diese feenhafte Erscheinung beruht darin, dass Gegenstände sichtbar werden, die man bei dem gewöhnlichen Zustande der Atmosphäre nicht sehen kann und welche zerrissen, verzerrt und in fortwährender Bewegung zu sein scheinen, weil die ungleich dichten Luftschichten in steter Bewegung sind.

Luftspiegelung. Für den Uebergang eines Lichtstrahles lc, 145
Fig. 235 (a. f. S.), welcher sich in atmosphärischer Luft bewegt, deren Brechungsexponent 1,00030 ist, in solche, deren Brechungsexponent 1,00029 beträgt, ist der Grenzwinkel gleich 89° 45′. Stellt also hk die Trennungsfläche der beiden Luftschichten dar, so findet in c eine totale Reflexion statt, wenn der Winkel hcl kleiner ist als 15′. Man ersieht

hieraus, dass stets eine totale Reflexion eintreten muss, wenn ein Lichtstrahl *lc* unter einem Winkel von nur wenigen Minuten auf die Grenzfläche *hk* einer nur unbedeutend weniger dichten Luftschicht trifft, und so erklärt sich die Luftspiegelung, deren schon im vorigen Paragraphen erwähnt wurde.

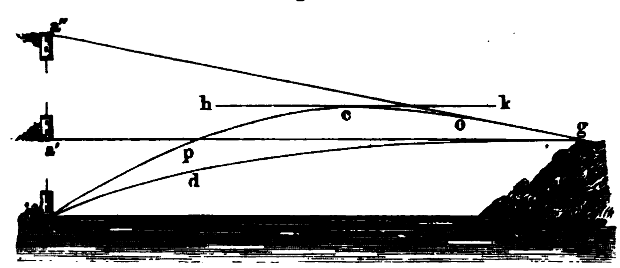
Wie wir bereits gesehen haben, kann bei anomalen Dichtigkeitsverhältnissen der Atmosphäre von *a*, Fig. 236, aus ein Lichtstrahl in krummliniger Bahn *adg* nach *g* gelangen, so dass man von *g* aus in *a'* das gehobene Bild von *a* erblickt. Von *a* aus kann aber noch auf anderem Wege ein Lichtstrahl nach *g* gelangen, welcher von *a* über *p* nach *c* gelangte und hier eine totale Reflexion erlitt, wenn die Luftschicht über *hk* im entsprechenden Grade weniger dicht ist, als die unterhalb *hk* befindliche Luftschicht. Der in *c* reflectirte Strahl gelangt aber auf dem Wege *cog* nach *g*, so dass man von *g* aus in der Richtung *ga''* noch ein Spiegelbild *a''* von *a* erblickt.

Fig. 235.



In den bisher betrachteten Fällen war das durch Luftspiegelung erzeugte Bild oberhalb des direct gesehenen; unter Umständen kann aber durch Luftspiegelung auch ein Spiegelbild unterhalb dem direct

Fig. 236.



gesehenen entstehen, wie dies namentlich in den Ebenen von Aegypten öfters beobachtet wird.

Der Boden von Niederägypten bildet eine weite Ebene, über welcher sich zur Zeit der Ueberschwemmung die Gewässer des Nils verbreiten. An den Ufern des Flusses und bis auf eine grosse Entfernung gegen die Wüste hin sieht man kleine Erhöhungen, auf welchen sich Gebäude und Dörfer erheben. Gewöhnlich ist die Luft ruhig und rein. Wenn die Sonne aufgeht, erscheinen alle entfernten Gegenstände scharf und deutlich; sobald aber die Tageshitze merklich, der Boden durch die Sonnenstrahlen erhitzt wird und die unteren Luftschichten an dieser hohen Temperatur theilnehmen, so entsteht in der Luft eine Art zitternder Bewegung, welche dem Auge sehr merklich ist und welche auch in unseren Gegenden an heissen Sommertagen beobachtet wird. Wenn nun

kein Wind geht und die Luftschichten, welche auf dem Boden ruhen, unbeweglich bleiben, während sie durch die Berührung mit dem Boden erhitzt werden, so entwickelt sich das Phänomen der Luftspiegelung in seiner ganzen Pracht. Der Beobachter, welcher nach der Ferne schaut, sieht noch das directe Bild aller Erhöhungen, der Dörfer, kurz aller hohen Gegenstände; unterhalb derselben sieht er aber ihr verkehrtes Bild, ohne den Boden sehen zu können, auf welchem sie sich erheben; alle diese Gegenstände erscheinen ihm also, als ob sie sich mitten in einem ungeheuren See befänden. Diese Erscheinung wurde während der französischen Expedition in Aegypten oft beobachtet, sie war für die Soldaten ein ganz neues Schauspiel und eine grausame Täuschung. Wenn sie aus der Ferne den Reflex des Himmels, das verkehrte Bild der Häuser und Palmbäume sahen, so konnten sie nicht zweifeln, dass alle diese Bilder durch die Oberfläche eines Sees gespiegelt seien. Ermüdet durch forcirte Märsche, durch die Sonnenhitze und eine mit Sand beladene Luft liefen sie dem Ufer zu, aber dieses Ufer floh vor ihren Augen; es war die erhitzte Luft der Ebene, welche das Ansehen von Wasser hatte und welche das Spiegelbild des Himmels und aller erhabenen Gegenstände der Erde zeigte. Die Gelehrten, welche die Expedition begleiteten, waren ebenfalls, wie das ganze Heer, getäuscht; aber die Täuschung war von kurzer Dauer.

In dem englischen Reisewerke: „Scenes in Ethiopia drawn and described by J. M. Bernatz, London 1852", finden sich ausgezeichnete bildliche Darstellungen dieses merkwürdigen Phänomens, welches auch im südlichen Theil von Abessinien häufig gesehen wird. Tab. XXXIV ist die Copie eines solchen Luftspiegels, welchen Bernatz im Thale Dullul beobachtete. Das ganze 3 bis 4 englische Meilen breite und 18 Meilen lange Thal erschien wie mit einem herrlichen See bedeckt, aus dessen Mitte eine Felseninsel hervorragte.

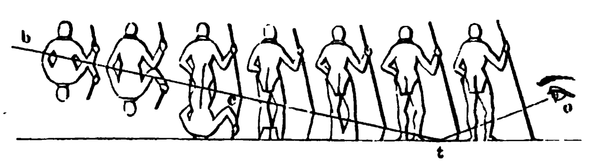
Karawanen, welche durch das Thal dahinziehen, sind durch den Luftspiegel ganz unsichtbar, und wenn sie sich dem Rande des scheinbaren Sees nähern, sieht es aus, als ob sie förmlich im Wasser wateten, indem der obere Theil der Körper der Thiere und Menschen über den Spiegel auftaucht, während der untere Theil noch unsichtbar bleibt.

Der Luftspiegel verschwand, wie Bernatz berichtet, wenn ein Wolkenschatten über denselben hinzog, und das ganze Thal sammt allen dasselbe umgebenden Bergen erschienen alsdann in ihrem natürlichen Zustande; sobald er aber vorüber war und die Sonne wieder schien, zeigte sich die Luftspiegelung wieder in voller Klarheit.

Bernatz machte ferner die interessante Beobachtung, dass der Luftspiegel steigt, wenn der Beobachter auf den Bergen, welche das Thal einschliessen, hinaufsteigend sich mehr und mehr über die Thalsohle erhebt, so dass endlich der ganze Felsen, welchen wir in der Mitte unseres Bildes sehen, vollkommen unter den Luftspiegel untertaucht und für das Auge verschwindet.

Biot und Mathieu haben bei Dünkirchen am Ufer des Meeres auf einer sandigen Ebene, welche sich bis zum Fort Risban erstreckt, ähnliche Erscheinungen beobachtet, und Biot hat eine vollständige Erklärung derselben gegeben. Er hat gezeigt, dass unter gewissen Umständen von einem Punkte *o*, Fig. 237, aus, in welchem sich der Beobachter befindet, man sich eine gebrochene Linie *otb* gezogen denken kann, so

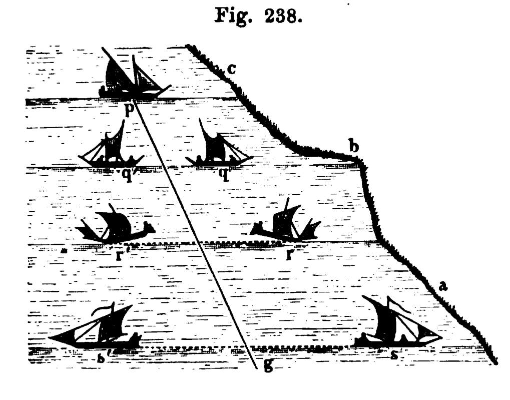
Fig. 237.



dass alle Gegenstände, welche sich unter derselben befinden, unsichtbar bleiben, während man von den Gegenständen, welche sich bis zu einer gewissen Höhe über derselben befinden, zwei Bilder sieht, ein directes über und ein verkehrtes unter dieser Linie. Ein Mensch also, welcher sich allmählich von dem Beobachter entfernt, wird der Reihe nach die verschiedenen in Fig. 237 dargestellten Erscheinungen geben.

Offenbar gehört hierher auch eine Erscheinung, welche man manchmal an Orten beobachtet, für welche der westliche Horizont frei ist und welche darin besteht, dass man die untergehende Sonne doppelt sieht, d. h. dass man zwei in verticaler Richtung etwas abgeplattete Bilder der Sonne sieht, von welchen das eine gerade unter dem anderen liegt.

Fig. 238.



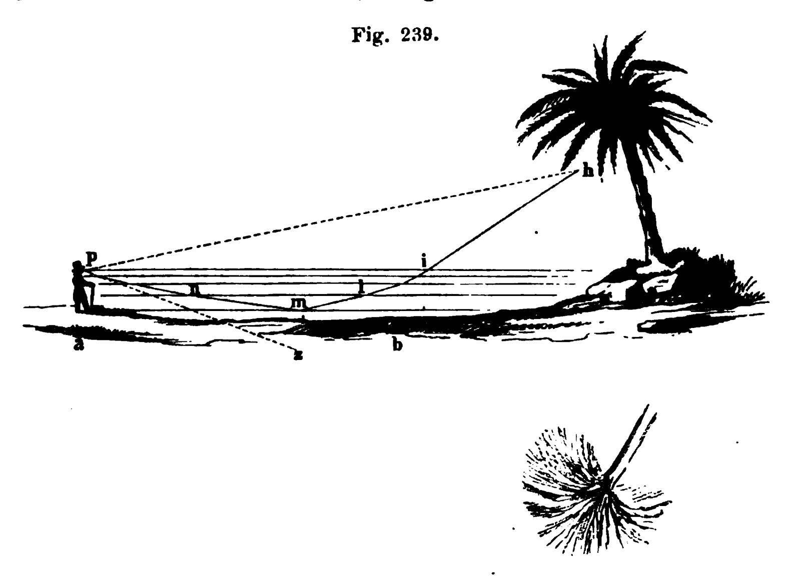
In allen bisher betrachteten Fällen waren die Bilder über oder unter dem Gegenstande selbst. Im September 1818 beobachteten Soret und Jurine auf dem Genfersee ein Luftbild, welches seitwärts vom Gegenstande lag; sie befanden sich am Ufer des Sees im zweiten Stocke von Jurine's Hause und sahen mit dem Fernrohre in der Richtung *gp*, Fig. 238, nach einem Schiffe, welches sich in einer Entfernung von zwei Meilen dem Vorgebirge Belle-Rive gegenüber befand und nach Genf segelte. Während das Schiff allmählich nach *q*, *r* und *s* kam, sahen sie ein deutliches Bild zur Seite in *q'*, *r'*, *s'*, welches sich wie das Schiff selber näherte, während die Entfernung des Schiffes und seines Bildes grösser wurde. Wenn die Sonne die Segel beleuchtete, war das Bild so hell, dass man es mit blossen Augen sehen konnte.

Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass die Luft über dem See am östlichen Ufer *abc* des Morgens noch einige Zeit im Schatten war, während sie weiter links schon durch die Sonne erwärmt wurde; so konnte die Trennungsfläche der warmen und kalten Luft bis zu einer geringen Höhe über dem Wasser vertical sein.

Folgendes ist die Erklärung, welche Monge von diesen Luftbildern gegeben und in den „Mémoires de l'Institut d'Egypte" bekannt gemacht hat:

Bei starker Sonnenhitze und ruhiger Luft ist es möglich, dass die unteren Luftschichten, welche, von dem Boden erhitzt, eine geringere Dichtigkeit besitzen als die höheren kälteren, ruhig auf dem Boden ausgebreitet bleiben und nicht aufsteigen. Dies vorausgesetzt, sei *ab*, Fig. 239, der horizontale Boden, *h* irgend ein erhabener Punkt. Wir

Fig. 239.



wollen nun untersuchen, auf welche Weise das Licht von *h* in das Auge des in *p* befindlichen Beobachters gelangen kann. Zunächst ist klar, dass das Auge ein directes Bild des Punktes *h* in der Richtung *ph* sieht; die Strahlen werden zwar nicht in einer absolut geraden Linie von *h* nach *p* gelangen, weil die Luft nicht überall gleiche Dichtigkeit hat, sie werden aber doch nur eine unbedeutende Ablenkung erleiden, wodurch höchstens eine geringe Hebung oder Senkung des directen Bildes entstehen kann.

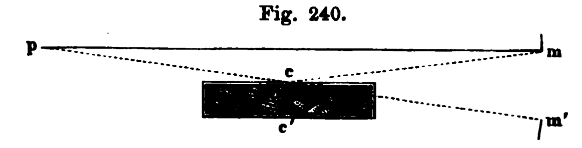
Unter den Strahlen, welche der Punkt *h* nach allen Richtungen aussendet, sind aber auch solche, welche den Weg *hilmnp* verfolgen und welche also, in der Richtung *pz* ins Auge gelangend, ein verkehrtes Bild des Gegenstandes geben. In der That wird der Strahl *hi*, wenn er auf

eine tiefere, weniger dichte Luftschicht trifft, so gebrochen werden, dass er sich vom verticalen Einfallslothe entfernt; ebenso wird er sich wieder vom Einfallslothe entfernen, wenn er auf die nächst tiefere, abermals weniger dichte Luftschicht trifft u. s. w. So wird denn die Richtung der Strahlen immer schräger, bis sie endlich aus der Schicht, in welcher sie sich befinden, nicht mehr in eine noch dünnere übergehen können; sie werden reflectirt und gelangen in der Richtung *mnp* in das Auge.

In unserer Figur ist der Weg der Strahlen als eine gebrochene Linie gezeichnet worden; da aber die Dichtigkeit der Luftschichten nach dem Boden hin allmählich abnimmt, so werden auch die Strahlen allmählich abgelenkt werden und eine krumme, nicht eine gebrochene Linie bilden.

Der folgende Versuch mag dienen, diese Erklärung zu erläutern, obgleich er nur eine schwache Nachahmung der Luftspiegelung ist. Es sei *cc'*, Fig. 240, ein Kasten von Eisenblech, ungefähr 1 m lang, 14 bis

Fig. 240.



18 cm hoch und breit; er wird mit glühenden Kohlen gefüllt und ungefähr in die Höhe des Auges gebracht. Wenn man nun oben über die obere Fläche des Kastens hinsieht, so erblickt man in der Richtung *pm* das directe, in der Richtung *pm'* aber das verkehrte Bild eines entfernten Visirpunktes *m*. An den Seitenwänden des Kastens kann man dieselbe Erscheinung beobachten.

Die gleiche Erscheinung kann man bisweilen an Steinplatten wahrnehmen, wenn dieselben durch die Strahlen der Sonne stark erhitzt werden.

Als Professor R. Ball auf dem Decke eines Dampfschiffes in solcher Stellung den aufgehenden Mond beobachtete, dass die Gesichtslinie unter einem Winkel von 20 Minuten den Schornstein streifte, sah er plötzlich das Licht des Gestirnes in solchem Glanze von der schwarzen Fläche reflectirt, dass es schwer hielt, nicht zu glauben, der Effect rühre von einem gewöhnlichen Spiegel her.

146 **Das Funkeln der Sterne.** Gewöhnlich erscheint uns das Licht der Fixsterne nicht ruhig sondern es scheint von Zeit zu Zeit, und zwar, abwechselnd mit grüner, blauer oder rother Farbe aufzublitzen. Diese beständige Veränderung im Lichte der Fixsterne ist es, welche man Funkeln oder auch Scintillation nennt.

Die mit blossem Auge sichtbaren Planeten zeichnen sich vor den Fixsternen durch ein sehr ruhiges Licht aus, sie zeigen das Phänomen des Funkelns entweder gar nicht oder doch weit schwächer.

Eine Erklärung dieses eigenthümlichen Phänomens, welches wesentlich dazu beiträgt, die Schönheit des gestirnten Himmels zu erhöhen, hat

uns Arago gegeben. Für die Bewohner der Erde sind die Fixsterne nur als leuchtende Punkte zu betrachten. Zwei homogene Lichtstrahlen, welche gleichzeitig von dem Sterne ausgehend in das Auge des Beobachters gelangen, werden aber, so nahe sie auch einander sein mögen, bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre nicht immer gleiche Verzögerungen erleiden, indem die geringsten Differenzen in der Dichtigkeit der durchlaufenen Luftschichten schon einen namhaften Gangunterschied der beiden Strahlen bewirken können. Weil aber ein beständiger Wechsel der Temperatur, des Druckes und der Feuchtigkeit in der Luft stattfindet, so wird auch die Grösse dieses Gangunterschiedes fortwährenden Schwankungen unterworfen sein, und so kommt es denn, dass zwei solche Strahlen, auf der Netzhaut des Auges vereinigt, sich entweder gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen (wenn der Gangunterschied Null ist oder ein gerades Vielfaches einer halben Wellenlänge beträgt) oder sich gegenseitig aufheben (wenn der Gangunterschied einem ungeraden Vielfachen einer halben Wellenlänge gleich ist). Auf diese Weise wird also das Licht des Sternes bald stärker, bald schwächer erscheinen und dieser Wechsel kann mit grosser Geschwindigkeit vor sich gehen.

Wir haben bisher angenommen, dass der Stern nur homogenes, einfarbiges Licht, also etwa nur rothes oder nur blaues, aussende. Dies ist aber in der That nicht der Fall, da das Licht der Fixsterne weiss, also aus verschiedenfarbigen Strahlen zusammengesetzt ist. Da nun die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Strahlen nicht gleich ist, so wird unter sonst gleichen Umständen der Gangunterschied der rothen Strahlen ein anderer sein müssen, als der der grünen, blauen u. s. w. In demselben Augenblicke, wo die rothen Strahlen sich fast aufheben, können also die grünen gerade so interferiren, dass sie sich gegenseitig verstärken und im nächsten Moment wird dann wieder ein Aufblitzen des rothen Lichtes stattfinden, während die blauen und grünen Strahlen fast erloschen erscheinen.

Während die Fixsterne, selbst durch die stärksten Fernrohre betrachtet, noch keine merklichen Dimensionen zeigen, haben die Planeten, durch Fernrohre betrachtet, einen namhaften Durchmesser; ein Planet kann demnach als ein Aggregat einfacher leuchtender Punkte betrachtet werden. Jeder dieser Punkte für sich allein wird sich nun wie ein Fixstern verhalten, und er würde funkeln wie ein Fixstern, wenn er isolirt wäre. Da aber nicht alle leuchtenden Punkte, welche die Scheibe des Planeten bilden, gleichzeitig auf gleiche Weise funkeln, so wird das Funkeln des einen Punktes im Allgemeinen das des anderen neutralisiren, und so kommt es denn, dass die Planeten sich durch ein ruhiges Licht auszeichnen.

Man hat bemerkt, dass sich das Funkeln der Sterne dann besonders stark zeigt, wenn die Luft längere Zeit hindurch trocken war und sich nunmehr Wasserdampf in derselben zu verbreiten beginnt, so dass ein

auffallend lebhaftes Funkeln der Sterne den Seeleuten als ein Zeichen bald eintretenden Regens gilt.

Zwischen den Wendekreisen, wo die Luft oft eine bewundernswerthe Ruhe und Klarheit zeigt, ist das Funkeln der Sterne bei Weitem nicht so auffallend und lebhaft, als in höheren Breiten.

147 **Unvollkommene Durchsichtigkeit der Luft.** Gewiss ist die atmosphärische Luft ungemein durchsichtig im Vergleich gegen alle uns bekannten festen und flüssigen Körper und dennoch ist sie, wie uns die alltäglichsten Erscheinungen lehren, keineswegs vollkommen durchsichtig. Entfernte Gegenstände erscheinen uns nicht nur unter kleinerem Gesichtswinkel, ihre Färbung erscheint matter, die Contraste zwischen Schatten und Licht sind schwächer; kurz, je entfernter ein Gegenstand ist, desto mehr scheint er uns mit einem milchigen, blassblauen Schleier überzogen, wie man namentlich an entfernten Bergen es deutlich sieht. Man bezeichnet diese Wirkung der unvollständigen Durchsichtigkeit der Luft mit dem Namen der Luftperspective.

Um ein Maass für die Schwächung des Lichtes durch die Atmosphäre zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Diaphanometer nannte. Diese Vorrichtung besteht aus zwei weissen Scheiben, von denen die eine ungefähr 6 Fuss, die andere 6 Zoll im Durchmesser hat; in der Mitte der grösseren Scheibe ist ein schwarzer Kreis von 24 Zoll, auf der anderen ein solcher von 2 Zoll gemalt. Beide Scheiben werden neben einander aufgestellt, und zwar so, dass sie nach einer und derselben Seite gekehrt und vollkommen gleich beleuchtet sind. Entfernt man sich nun allmählich, so kommt man bald zu einem Punkte, in welchem der kleine schwarze Kreis dem Auge verschwindet, und wenn man sich dann noch weiter von den Scheiben entfernt, so gelangt man endlich auch dahin, dass der grössere schwarze Kreis auch nicht mehr sichtbar ist.

Misst man nun die Entfernungen der Scheibe von den Punkten, in welchen der kleine und der grosse Kreis verschwindet, so findet man, dass sie keineswegs den Durchmessern der Kreise proportional sind, wie es sein müsste, wenn die Luft vollkommen durchsichtig und das Verschwinden der schwarzen Kreise nur durch die Kleinheit des Gesichtswinkels bedingt wäre.

Bei einem derartigen Versuche verschwand z. B. der kleine Kreis in einer Entfernung von 314 Fuss, der grosse aber nicht in zwölffacher Entfernung, sondern schon bei einem Abstande von 3588 Fuss. Die beiden Abstände verhalten sich wie 1 zu 11,427; die kleine schwarze Scheibe verschwand unter einem Gesichtswinkel von 1′ 49″, die grosse schon unter einem Gesichtswinkel von 1′ 55″.

Dass der grössere schwarze Kreis schon verschwindet, bevor der Sehwinkel auf die Grösse herabgesunken ist, bei welcher der kleine Kreis aufhört, dem blossen Auge sichtbar zu sein, rührt nur daher, dass bei grösserer Entfernung in Folge der durch die Atmosphäre bewirkten

Lichtabsorption der Contrast der schwarzen Scheibe und des weissen Grundes geringer wird.

In grösseren Höhen über dem Meeresspiegel ist begreiflicher Weise die Luft durchsichtiger als in der Tiefe, wie dies auch vergleichende Versuche darthun, welche H. Schlagintweit in den Alpen anstellte (Pogg. Ann. LXXXIV, 1851). Der kleine schwarze Kreis des Schlagintweit'schen Diaphanometers hatte 1 Zoll, der grössere hatte 12 Zoll im Durchmesser. An sehr günstigen reinen Tagen fand er für den Quotienten der beiden Entfernungen, in welchen die kleine und grosse Scheibe verschwinden, den Werth

10,279 in einer Höhe von 2300′ über dem Meere, und
11,957 „ „ „ „ 12000′ „ „ „

Man sieht, wie sich der Quotient für grössere Höhen seinem Grenzwerthe weit mehr nähert, als es für tiefer liegende Orte der Fall ist.

Die Durchsichtigkeit der Luft ist aber selbst für einen und denselben Ort von sehr veränderlicher Grösse. Während man z. B. bei durchsichtiger Luft von den Höhen des Schwarzwaldes aus die schneebedeckte Alpenkette in grosser Klarheit und mit scharfen Umrissen erblickt, ist dieselbe an anderen Tagen oft bei ganz wolkenfreiem Himmel vollkommen unsichtbar.

Im Allgemeinen sind die sonnigsten, wolkenfreiesten Tage keineswegs diejenigen, an welchen die Luft besonders durchsichtig ist; im Gegentheil hat man bei anhaltend guter Witterung selten eine klare Fernsicht; und man kann es fast stets als ein Zeichen bald eintretenden Regens betrachten, wenn ferne Berge sehr klar erscheinen. Die Luft erreicht, wenigstens in unseren Klimaten, ihre grösste Durchsichtigkeit, wenn nach lang anhaltendem Regen oder auch nach einem Gewitter eine rasche Aufheiterung des Himmels erfolgt, die aber dann selten von Dauer ist.

In den Aequatorialgegenden ist die Luft bei weitem durchsichtiger als in unseren Gegenden, so dass man dort kleinere Sterne deutlich mit blossem Auge unterscheiden kann, die bei uns stets unsichtbar bleiben. So unterschied Humboldt an der Küste von Cumana und auf den 12 000 Fuss hohen Ebenen der Cordilleren mit unbewaffnetem Auge vollkommen deutlich das Sternchen Alcor (auch das Reiterchen genannt), welches ganz in der Nähe des Sternes Mizar im Schwanze des Grossen Bären steht, obgleich dieses Sternbild in Südamerika nicht so hoch über dem Horizonte steht, wie bei uns, wo man es nur selten und dann nicht mit grosser Bestimmtheit von dem benachbarten Mizar getrennt zu erkennen im Stande ist.

In der Nähe von Quito sah Humboldt mit unbewaffnetem Auge auf eine Entfernung von vier deutschen Meilen einen weissen, sich vor den schwarzen basaltischen Wänden hinbewegenden Punkt, den er durch das Fernrohr als seinen in einen weissen Mantel gehüllten Reisegefährten Bonpland erkannte.

Sehr durchsichtig ist auch die trockene Luft der Binnenländer, selbst in höheren Breiten, so namentlich in Persien, dem Himalaya und in Sibirien.

Als Ursache der geringeren Durchsichtigkeit der Luft bei trockener Witterung betrachtet A. de la Rive das Vorhandensein von undurchsichtigem Staube und Pflanzenkeimen in derselben. Wird dann die Luft beim Einfallen südwestlicher Winde feuchter, so werden diese Körperchen durch Absorption des Wasserdampfes durchsichtiger und zugleich schwerer, so dass sie schneller zu Boden fallen, was bei beginnendem Regen noch vollständiger erfolgt. Maréchal Vaillant dagegen sucht den hauptsächlichsten Grund der verschiedenen Durchsichtigkeitsgrade der Luft darin, dass beim Wehen der südwestlichen Winde die Temperatur von Boden und Luft viel gleichartiger und deshalb die Unruhe der Luft durch aufsteigende und niedersinkende Luftströmungen weit geringer sei als bei Nordostwinden. Unruhige Luft ist aber undurchsichtiger, weil an den Grenzen wärmerer und kälterer Luftschichten vielfache Reflexionen und unregelmässige Brechungen stattfinden.

Mag nun auch die Mischung ungleich erwärmter Luftschichten die Durchsichtigkeit der Luft unter Umständen sehr beeinträchtigen, so rühren doch die stärkeren Trübungen der Luft, welche man als trockene Nebel bezeichnet, unzweifelhaft von feinen Staub- und Rauchtheilchen her, welche in der Luft schweben, wie dies namentlich beim Höhenrauch der Fall ist, welcher von Moorbränden in Nordwestdeutschland herrührt, die jährlich im Mai und Juni ausgeführt werden, um die Aecker zum Anbau von Buchweizen und Roggen geeignet zu machen. Der durch diese Moorbrände erzeugte Rauch wird je nach der Windrichtung nach verschiedenen Seiten hin oft Hunderte von geographischen Meilen weit fortgeführt. Bei Emden ist der Rauch oft so dicht, dass Häuser und Bäume schon bei 1000 Schritt Entfernung unsichtbar werden. In grösserer Entfernung erscheint der Moorrauch als grauliche Trübung, welche der Landschaft Leben und Frische, der Sonne ihren Glanz raubt, so dass man sie ungestraft mit blossem Auge als rothe Scheibe am grauen Himmel erblickt. Gewöhnlich ist der Höhenrauch selbst in grösseren Entfernungen, z. B. in Thüringen, von einem brenzlichen Geruche begleitet. Im Jahre 1857 verbreitete sich der Moorrauch über Hannover bis über Bonn und Frankfurt a. M. hinaus und er wurde zu Bamberg, Dresden, Krakau und Wien beobachtet.

Durch Regen und namentlich durch Gewitter wird der Höhenrauch niedergeschlagen.

In Spanien ist eine trockene Trübung, welche von der Mitte Juni bis zur Mitte August oft den ganzen Horizont mit einem bläulichgrauen Reif umzieht, unter dem Namen der Callina bekannt; sie ist vollkommen geruchlos und hängt mit Moorbränden oder dergleichen durchaus nicht zusammen. Wahrscheinlich ist die Callina das Erzeugniss des über den staubigen dürren Ebenen Spaniens aufsteigenden Luftstromes.

Aehnlich der Callina in seinem Erscheinen und in seiner Ursache ist auch der Qobar Aethiopiens.

Der Durchsichtigkeits-Coëfficient. Ein richtiges Urtheil 148
über die Grösse der Lichtabsorption in der Luft erhält man erst durch die Bestimmung des Durchsichtigkeits-Coëfficienten, d. h. durch Bestimmung des Bruchtheils des einfallenden Lichtes, welcher durch eine Luftschicht von der Länge 1 hindurchgeht. Die Berechnung dieses Coëfficienten aus den mit dem Diaphanometer gemachten Messungen stützt sich auf die Voraussetzung, dass die Erscheinung nicht wesentlich geändert würde, wenn die Scheiben aus weissen Kreisen auf schwarzem Grunde beständen und dass in diesem Falle die beiden verschieden grossen weissen Flecke im Moment, wo sie verschwinden, gleich viel Licht ins Auge senden.

Es sei nun i die Lichtmenge, welche die kleine Scheibe ins Auge senden würde, wenn sie in der Entfernung 1 aufgestellt wäre und wenn keine Lichtabsorption in der Luft stattfände, so ist

$$l = \frac{i}{e^2} a^e \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

die Lichtmenge, welche von derselben Scheibe ins Auge gelangt, wenn sie in der Entfernung e aufgestellt ist, und wenn a den Durchsichtigkeits-Coëfficienten bezeichnet. Ist d der Durchmesser der kleinen, D aber der der grossen Scheibe, so ist die Lichtmenge L, welche die grosse Scheibe (bei gleicher Beleuchtung) aus der Entfernung E ins Auge sendet:

$$L = \frac{D^2 i}{d^2 E^2} a^E \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 2)$$

Sind nun e und E die Entfernungen, für welche der kleine und der grosse Fleck eben verschwinden, so sendet die grosse Scheibe aus der Entfernung E ebenso viel Licht ins Auge, wie die kleine aus der Entfernung e, es ist also für diesen Fall $l = L$ oder

$$\frac{i}{e^2} a^e = \frac{D^2 i}{d^2 E^2} a^E$$

oder

$$\frac{a^E}{a^e} = \frac{d^2 E^2}{D^2 e^2}$$

und daraus

$$a = \left(\frac{d \,.\, E}{D \,.\, e}\right)^{\frac{2}{E-e}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 3)$$

Bei den oben erwähnten, von Schlagintweit angestellten Versuchen war $D = 12\,d$. In einer Höhe von 12000′ fand er $e = 230$, $E = 2750$ und danach

$$a = \left(\frac{2{,}75}{12 \,.\, 0{,}23}\right)^{\frac{2}{2{,}52}} = 0{,}9971,$$

wenn man eine Länge von 1000 Fuss zur Längeneinheit wählt. Aus den in einer Höhe von 2300′ angestellten Versuchen ergiebt sich nach dieser Formel

$$a = 0{,}9029.$$

Bei Ableitung dieser Formel ist stillschweigend angenommen, dass die Pupillenöffnung des Auges bei der Beobachtung der grossen Scheibe ebenso gross sei, wie bei der Beobachtung der kleinen. Es ist aber bekannt, dass sich die Pupille beim Accommodiren auf nahe Gegenstände verengert. Mit Berücksichtigung dieses geht die Gleichung 3) über in

$$a = \left(\frac{d \,.\, E \,.\, p}{D \,.\, e \,.\, P}\right)^{\frac{2}{E - e}} \quad \ldots \ldots \quad 4)$$

wenn p den Durchmesser der Pupillenöffnung bei Beobachtung der nahen, P aber denselben bei Beobachtung der entfernteren Scheibe bezeichnet. Wild, welcher zuerst auf diesen Punkt aufmerksam gemacht hat (Pogg. Ann. CXXXIV, 1868), fand, dass sich der Durchmesser der Pupillenöffnung für die fragliche Distanzveränderung ungefähr im Verhältniss von 24 zu 30 ändert, dass also in unserem Falle $\frac{p}{P} = \frac{24}{30} = 0{,}8$ ist. Berechnet man den Durchsichtigkeits-Coëfficienten aus den von Schlagintweit in einer Höhe von 2300 Fuss angestellten Beobachtungen nach Gleichung 4), so erhält man

$$a = 0{,}7225$$

statt des oben angeführten Werthes $a = 0{,}9029$. Der Einfluss der Pupillenöffnung ist also ein sehr bedeutender.

Ausser dem eben erwähnten Umstande werden aber die nach den Beobachtungen mit dem Saussure'schen Diaphanometer berechneten Werthe von a auch noch dadurch unsicher, dass eine vollkommen gleiche Beleuchtung der beiden Scheiben, welche bei der Construction der Formel stillschweigend vorausgesetzt wurde, schwer zu realisiren ist. Es bedurfte also zuverlässigerer Methoden, um den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der Luft mit grösserer Genauigkeit zu bestimmen, wie dies in der That durch die Beobachtungen von De la Rive und Wild geschehen ist.

149 Methoden und Messungen von De la Rive und Wild.

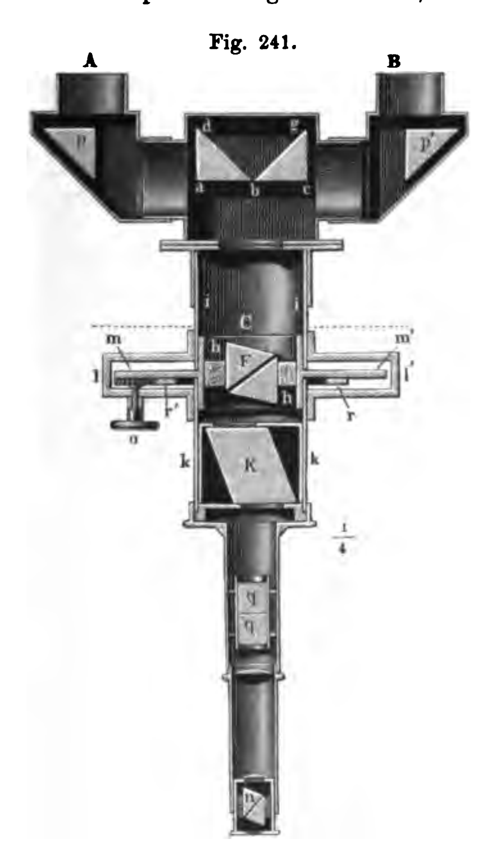
Um Versuche über die Durchsichtigkeit der Luft anzustellen, hat De la Rive einen Apparat construirt, von welchem die „Annales de chimie et de physique" (4. Ser., t. XII, 1867) eine kurze Beschreibung enthalten. Im Wesentlichen besteht das Instrument aus zwei Fernrohren mit gemeinschaftlichem Ocular.

Jedes Objectiv giebt sein Bild in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes des Oculars, so dass man die Bilder der Gegenstände, auf welche die beiden Fernrohre gerichtet sind, dicht neben einander

erblickt. Der Winkel, welchen die Axen der beiden Rohre mit einander machen, kann von 0° bis 29° variirt werden. Die durch jedes Objectiv eintretenden Strahlen werden durch zwei totale Reflexionen dem Ocular zugeführt.

Als Vergleichsobjecte dienen zwei gleiche, mit weisser Leinwand oder mit Papier überzogene Schirme, welche in passender Weise, möglichst gleich beleuchtet, in verschiedenen Entfernungen aufgestellt, und auf welche dann die beiden Fernrohre gerichtet werden. Von diesen beiden Miren erblickt man nun, in das Ocular hineinschauend, unmittelbar neben einander zwei Bilder, von welchen das der entfernteren Scheibe lichtschwächer erscheinen wird. Um die Helligkeit der beiden Bilder gleich zu machen, wird vor das auf die nähere Scheibe gerichtete Objectiv ein Diaphragma mit veränderlicher Oeffnung gesetzt und diese verkleinert, bis beide Bilder gleich hell erscheinen. Aus dem Verhältniss der beiden Objectivöffnungen kann man dann auf das Verhältniss der Helligkeit der beiden Miren schliessen.

Fig. 241.



Der Wild'sche Apparat ist in Fig. 241 abgebildet, und zwar mit Hinweglassung mancher Constructionsdetails und solcher Einrichtungen, welche, zu anderen Zwecken dienend, hier unnöthig sind. Das Licht, welches von der einen der zu vergleichenden Lichtquellen kommt, tritt durch die Röhre *A*, das von der anderen Lichtquelle kommende tritt durch die Röhre *B* in den Apparat ein.

Ein Theil des bei *A* eintretenden Lichtes dringt ohne Ablenkung an der Vorderseite des Prismas *p* ein, um an seiner Rückwand eine totale Reflexion zu erleiden. Die aus dem Prisma *p* austretenden Strahlen treffen auf das mit *p* parallel gestellte Glasprisma *abd*, an dessen Rückfläche sie abermals eine totale Reflexion erleiden, um dann ohne Ablenkung an der Fläche *ab* auszutreten und sich rechtwinkelig zu *ab* fortzupflanzen.

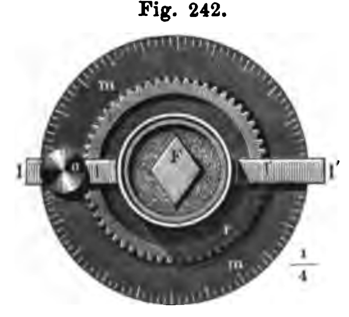
In gleicher Weise tritt nach zweimaliger totaler Reflexion rechtwinkelig zu *bc* ein Theil der Strahlen aus, welche, von der zweiten Lichtquelle kommend, durch die Röhre *B* in den Apparat eingetreten waren.

Denken wir uns nun denjenigen Theil des Apparates, Fig. 241, entfernt, welcher unterhalb der punktirten Linie liegt, so würde man, von *C* her gegen die beiden Prismen schauend, zwei erleuchtete Flächen *ab* und *bc* sehen, welche in einer geraden, in Fig. 241 in *b* zum Punkte verkürzt erscheinenden Linie an einander stossen. Die Helligkeit, mit welcher uns diese beiden Flächen erleuchtet erscheinen, ist der Intensität der bei *A* und *B* eintretenden Strahlen proportional.

Um nun aber die Helligkeit dieser beiden an einander stossenden Flächen zu vergleichen, wendet Wild das von ihm construirte Polarisationsphotometer an, welches in unserer Figur unterhalb der punktirten Linie im Durchschnitt dargestellt ist.

Das aus dem Prismenapparate austretende Licht fällt zunächst auf den Kalkspathpolarisator *F* (am bequemsten ein Foucault'sches Prisma). Der Polarisator *F* ist zunächst mittelst eines Korkes in einer Hülse *h* befestigt, welche selbst wieder in der Mitte der kreisförmigen Messingscheibe *m* eingelöthet ist. Einerseits steckt die Hülse *h* in der Messinghülse *i*, andererseits steckt sie in der Messinghülse *k*. Die Messinghülsen *i* und *k* sind aber durch die Metallbügel *l* und *l'* fest mit einander verbunden. Zum besseren Verständniss ist dieser Theil des Apparates in Fig. 242 von *K* aus gesehen dargestellt.

Fig. 242.



Durch diese Einrichtung ist es möglich, die Platte *m* in ihrer Ebene, also auch die Hülse *h* sammt Polarisator *F* um ihre Axe zu drehen, während alle übrigen Theile des Apparates in unveränderlicher gegenseitiger Stellung bleiben.

Die Drehung der Scheibe *m* sammt dem Polarisator *F* wird mittelst des Knopfes *o* bewerkstelligt, mit welchem ein Trieb in Verbindung steht, der in den gezahnten, auf der Platte *m* aufgelötheten Ring *r* eingreift.

Die bei *A* und *B* eintretenden Lichtstrahlen, welche wenigstens in den hier zu betrachtenden Fällen vollkommen unpolarisirt sind, werden nun durch das Kalkspathprisma *F* polarisirt und fallen dann auf das Kalkspathrhomboëder *K*, welches so in dem Apparate befestigt ist, dass sein Hauptschnitt (die Ebene des Papiers) rechtwinkelig steht zu der geraden Linie, in welcher die beiden Glasprismen *dab* und *gcb* zusammenstossen.

Durch *K* nach dem vorderen Theile des Apparates hinschauend, erblickt man nun zwei Bilder von einer jeden der beiden erleuchteten

Flächen ab und bc, und zwar wird das ordinäre Bild der Fläche ab zum Theil noch über das extraordinäre Bild von bc fallen. Diese Stelle aber, an welcher das ordinäre Bild von ab und das extraordinäre von bc über einander liegen, ist es, deren nähere Untersuchung zu einer Vergleichung der Helligkeit der Flächen ab und bc führt.

Fig. 243.

In Fig. 243 sei mm die Schwingungsrichtung der ordinären Strahlen im Rhomboëder K, also eine Linie, welche mit der Kante parallel läuft, in welcher die beiden Prismen dab und gcb zusammenstossen, so ist nn die Schwingungsrichtung der extraordinären Strahlen. Es sei ferner rr die Schwingungsrichtung der aus dem Polarisator F austretenden Strahlen, welche einen Winkel v mit mm macht.

Bezeichnen wir nun mit i und i_1 die Amplituden der aus dem Polarisator austretenden nach rr schwingenden Strahlen, welche von den Flächen ab und bc kommen, so ist

$$i \cos v$$

die Amplitude des nach mm vibrirenden ordinären Bildes der Fläche ab und

$$i_1 \sin v$$

die Amplitude des nach nn schwingenden extraordinären Bildes der Fläche bc. Die Intensitäten dieser beiden rechtwinkelig zu einander polarisirten Bilder sind also

$$L = i^2 (\cos v)^2$$

und

$$L^1 = i_1^2 (\sin v)^2.$$

Sind nun diese beiden Bilder vollkommen gleich lichtstark, so wird die Partie, in welcher sie über einander fallen, keinerlei Polarisation zeigen, was man mit Hülfe eines Polariskops leicht erkennen kann. Als Polariskop bedient sich Wild hier derselben Vorrichtung, welche er schon bei seinem Polarisationsstrobometer in Anwendung gebracht hat, nämlich eines kleinen, schwach vergrössernden Fernrohrs, vor dessen Objectiv zwei gekreuzte Quarzplatten q und q' eingesetzt sind, deren Oberflächen einen Winkel von 45° mit ihrer optischen Axe machen, während vor dem Ocular ein Nicol'sches Prisma eingesetzt ist. Sind die beiden fraglichen Bilder gleich hell, so wird man an der Stelle, wo sie über einander fallen, keinerlei Streifen wahrnehmen, ist das eine aber lichtstärker als das andere, so erscheinen die Streifen. Durch Drehung der Scheibe mm, Fig. 242, und des Polarisators F, also durch passende Veränderung des Winkels v, kann man aber leicht die Streifen zum Verschwinden bringen.

Zur Messung des Winkels v ist der Umfang der Scheibe m mit einer Gradeintheilung versehen, deren Nullpunkt beim Nonius einsteht,

wenn die Schwingungsebene des Polarisators F rechtwinkelig steht auf dem Hauptschnitte des Kalkspathrhomboëders K. Hat man mit Hülfe des Knopfes o den Polarisator F so gestellt, dass die Streifen an der Stelle verschwinden, wo sich die Bilder von ab und bc überdecken, so ist $L = L_1$, also

$$i^2 (\cos v)^2 = i_1^2 (\sin v)^2$$

oder

$$\frac{i^2}{i_1^2} = (\tan v)^2.$$

Nun ist aber die Lichtstärke J der bei A eintretenden Strahlen proportional dem Quadrat der Amplitude i, also

$$J = c i^2,$$

und ebenso haben wir für die Lichtstärke der bei B eintretenden Strahlen

$$J_1 = c_1 i_1^2.$$

Die Factoren c und c_1 würden vollkommen gleich sein, wenn der Verlust an Lichtstärke, welchen die Strahlen beim Durchgange durch die Prismen p' und gcb erleiden, vollkommen dem Lichtverluste in p und dab gleich wäre, was aber in der Regel nicht der Fall ist. Wir haben also

$$\frac{J}{J_1} = \frac{c_1 i_1^2}{c i^2},$$

oder

$$\frac{J}{J_1} = C (\tan v)^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn man $\frac{c_1}{c} = C$ setzt.

Die Grösse des Factors C lässt sich ermitteln, wenn man bei A und B, Fig. 241, Licht von gleicher Intensität eintreten lässt, wenn also $J = J_1$ ist. Hat man für diesen Fall den Polarisator F so gestellt, dass die Streifen im Polariskop verschwinden und den entsprechenden Winkel v_1 gemessen, so hat man:

$$C (\tan v_1)^2 = 1,$$

also:

$$C = \frac{1}{(\tan v_1)^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Zur Bestimmung des Durchsichtigkeits-Coëfficienten der Luft wendet nun Wild das eben beschriebene Photometer in folgender Weise an (Pogg. Ann. CXXXV, 1868). Vor die beiden Oeffnungen des in einem Zimmer aufgestellten Instrumentes P, Fig. 244, werden zwei Blechröhren R und R_1 so aufgestellt, dass ihre Axen gegen einen und denselben Punkt a einer geölten Papierscheibe gerichtet sind. Die Papierscheibe ist in der Oeffnung eines Fensters aufgestellt, dessen Flügel vollständig entfernt sind, so dass die Papierscheibe sehr gleichförmig durch das äussere Tageslicht erleuchtet ist. Ausserdem aber wird die Scheibe

durch ein Uhrwerk um einen unter a liegenden Mittelpunkt in gleichförmige Rotation versetzt.

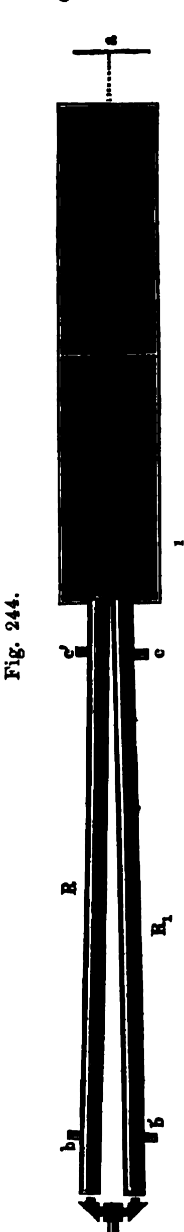


Fig. 244.

Die Länge l der Röhren R und R_1 betrug 3,98 m, ihr Durchmesser 1 dm. An beiden Seiten war jede dieser Röhren mit einer Platte von Spiegelglas luftdicht verschlossen.

Um alles fremde Licht möglichst vollständig abzuhalten, waren im Inneren der Röhren R und R_1 zahlreiche Diaphragmen eingesetzt, welche eine centrale Oeffnung von nur 6 cm Durchmesser hatten. An der Röhre R sind zwei Seitenröhrchen b und c' angebracht; durch b kann das Innere des Rohres R mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht, also evacuirt werden, durch c' aber kann man in die entleerte Röhre Luft einströmen lassen, welche zuerst durch einen Trockenapparat und alsdann durch eine Röhre mit Baumwolle gegangen ist, um möglichst allen Staub aus der eintretenden Luft zu entfernen. Die Röhrchen b' und c an dem Rohre R_1 dienen zu dem gleichen Zwecke, um nämlich R_1 evacuiren und dann mit getrockneter, filtrirter Luft füllen zu können.

Zwischen der Papierscheibe und den Röhren R und R_1 befindet sich zur Abhaltung fremden Lichtes noch ein innen geschwärzter, in der Hälfte seiner Länge mit einem in der Mitte durchbrochenen Diaphragma versehener Kasten.

Bezeichnen wir mit I die Lichtstärke, welche das ordinäre Bild von ab (Fig. 241) haben würde, wenn die Luft in der Röhre R gar kein Licht absorbirte, so ist die wirkliche Lichtstärke dieses Bildes

$$J = Ia^{l},$$

wenn a den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der in R enthaltenen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, und l die Länge der Röhre bezeichnet. Ebenso ist die Intensität des extraordinären Bildes von bc

$$J_1 = Ia_1^{l},$$

wenn a_1 den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der in R_1 enthaltenen verdünnten Luft bezeichnet.

Setzen wir in Gleichung 1) für J und J_1 ihre oben angeführten Werthe, und für v den Winkel, auf welchen man den getheilten Kreis m einstellen muss, damit die Streifen verschwinden, wenn die

eine Röhre Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, die andere aber verdünnte Luft enthält, so kommt

$$\left(\frac{a}{a_1}\right)^l = C\,(tang\ v)^2,$$

und wenn man für C seinen Werth bei 2) setzt,

$$\frac{a}{a_1}\left(\frac{tang\ v}{tang\ v_1}\right)^{\frac{2}{l}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

wenn v_1 den Werth des Neutralisationswinkels für den Fall bezeichnet, dass beide Röhren Luft von gleicher Beschaffenheit und Dichtigkeit enthalten. Wenn die Luft in R n mal so dicht als die verdünnte Luft in R_1, so ist

$$a = a_1^n$$

$$a_1 = a^{\frac{1}{n}}$$

$$\frac{a}{a_1} = \frac{a}{a^{\frac{1}{n}}} = a^{1-\frac{1}{n}} = a^{1-\frac{p}{P}},$$

wenn man mit p den Druck der Luft in R_1 und mit P den in R bezeichnet. Aus der letzten Gleichung folgt aber ferner

$$\frac{a}{a_1} = a^{\frac{P-p}{P}}$$

und endlich

$$a = \left(\frac{a}{a_1}\right)^{\frac{P}{P-p}}$$

und wenn man für $\frac{a}{a_1}$ seinen Werth bei 3) setzt

$$a = \left(\frac{tang\ v}{tang\ v_1}\right)^{\frac{2P}{(P-p)\,l}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

Bei einem nach dieser Methode angestellten Versuche erhielt Wild folgende Resultate. Als beide Röhren mit Luft von atmosphärischer Dichtigkeit ($P = 715$ mm) gefüllt waren, ergab sich der entsprechende Neutralisationswinkel $v_1 = 43^0$. Als die Röhre R_1 dagegen so weit evacuirt worden war, dass $p = 40$ mm, ergab sich $v = 42^0\ 49'$. Setzt man diese Werthe von P, p, v und v_1 in Gleichung 4) und ausserdem $l = 3{,}98$, so kommt

$$a = 0{,}99659$$

auf den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der in der Röhre enthaltenen Luft von atmosphärischer Dichtigkeit, wenn man 1 m als Längeneinheit annimmt.

Nach einer Reihe sorgfältig angestellter Versuche ist bei atmosphärischem Druck (auf 1 m als Wegeinheit bezogen) der Durchsichtigkeits-Coëfficient

trockener, möglichst staubfreier Luft	0,99718
„ staubhaltiger Zimmerluft	0,99520
staubfreier, mit Wasserdampf gesättigter Luft .	0,99388

Man sieht daraus, dass der Staubgehalt der Luft ihre Durchsichtigkeit sehr vermindert. Da aber staubfreie, trockene Luft durchsichtiger ist, als staubfreie, mit Wasserdampf gesättigte, so kann die vermehrte Durchsichtigkeit der Luft bei bevorstehendem Regen oder unmittelbar nach erfolgtem Niederschlage nicht sowohl von der Feuchtigkeit der Luft als solcher, sondern nur daher rühren, dass durch den vermehrten Wasserdampf die Menge des in der Luft suspendirten Staubes und der herumfliegenden Pflanzenkeime vermindert wird.

Berechnet man nach dem oben angegebenen Werthe den Durchsichtigkeits-Coëfficienten der staubfreien Luft für die Längeneinheit von 1000 Fuss, so erhält man ungefähr

$$a = 0{,}99718^{300} = 0{,}428,$$

ein Werth, der noch ungleich kleiner ist als derjenige, welcher sich mit Berücksichtigung der Pupillenveränderung aus den Schlagintweit'schen Beobachtungen mit dem Saussure'schen Diaphanometer ergiebt.

Nach den Wild'schen Versuchen ist also die Lichtabsorption wenigstens in den zunächst über dem Boden ruhenden Luftschichten eine weit bedeutendere, als man bis dahin annehmen zu können glaubte.

Nach vorläufigen Versuchen von Wild ist übrigens der Durchsichtigkeits-Coëfficient nicht für alle Farben derselbe, er ist kleiner für blaue als für rothe Strahlen.

Durchsichtigkeit und Farbe des Wassers. Die Be- 150
sprechung der Durchsichtigkeit und der Farbe des Wassers gehört zwar streng genommen nicht in dieses Capitel, dennoch dürfte hier wohl die passendste Stelle dafür sein.

Obgleich das reine Wasser in kleinen Quantitäten vollkommen durchsichtig erscheint, so übt es doch eine bedeutende Absorption auf Lichtstrahlen aus, welche einen etwas längeren Weg im Wasser zurückzulegen haben.

Nach Wild's Messungen ist der Durchsichtigkeits-Coëfficient des Wassers auf 1 m als Wegeinheit reducirt (Pogg. Ann. CXXXIV, 1868) bei einer Temperatur von 17° C., nach der Filtration durch

Grobes Filtrirpapier	0,5368
Mittelfeines „	0,6491
Feinstes „	0,7978

Diese Zahlen zeigen, wie bedeutend die Durchsichtigkeit des Wassers durch Staubtheilchen beeinträchtigt wird, welche im Wasser suspendirt

sind. Aber selbst für das reinste Wasser ist die Lichtabsorption noch so bedeutend, dass eine Schicht von 5 m Länge ungefähr nur noch $^1/_3$ des auffallenden Lichtes, eine Schicht von 300 m Länge aber so gut wie gar kein Licht mehr durchlässt.

Mit wachsender Temperatur nimmt der Durchsichtigkeits-Coëfficient des Wassers ab. Wild fand denselben, auf 1 m Wegeinheit bezogen, für destillirtes, durch grobes Papier filtrirtes Wasser

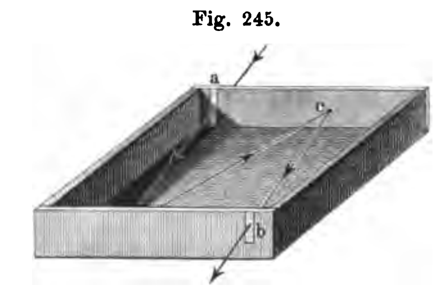
bei 24,4° C. gleich 0,4247
„ 6,2° C. „ 0,5844

Daraus erklärt sich nun auch, dass die Farbe des Wassers in Seen und Flüssen im Sommer eine dunklere und gesättigtere ist als im Winter, und dass ebenso das Wasser des Golfstromes intensiver gefärbt erscheint, als das umgebende Wasser.

Das reine Wasser ist, wie es Bunsen experimentell bewiesen hat, nicht farblos, wie man gewöhnlich annahm, sondern es besitzt von Natur eine rein blaue Färbung. Er beobachtete diese Färbung, als er durch eine 2 m lange Wassersäule weisse Porcellanstücke betrachtete.

Um die Farbe des destillirten Wassers zu beobachten, wandte Beetz (Pogg. Ann. CXV, 1862) einen aus Guttapercha verfertigten Kasten, Fig. 245, an, dessen Vorder- und Hinterwand durch dünne geschliffene Glasplatten gebildet ist, welche auf ihrer Innenseite mit einer polirten Silberbelegung versehen sind. Der Abstand der beiden Glasplatten betrug 250, die Breite derselben 150 cm. An der Hinterwand ist bei *a*, an der Vorderwand ist bei *b* ein verticaler Streifen der Belegung fortgenommen. Lässt man nun ein Bündel Sonnenstrahlen, welches durch den Spiegel eines Heliostats reflectirt, in horizontaler Richtung in ein dunkles Zimmer eingetreten ist, in gehöriger Richtung durch den Spalt bei *a* eintreten, so wird es nach einmaliger Reflexion an der Vorderwand und nach einmaliger Reflexion an der Hinterwand, nachdem es also die Länge des Kastens dreimal durchlaufen hat, durch den Spalt bei *b* austreten. Durch entsprechende Drehung des Kastens gegen die einfallenden Strahlen kann man es dahin bringen, dass die Strahlen bei *b* austreten, nachdem sie die Länge des Kastens fünfmal, siebenmal u. s. w. durchlaufen haben. Fängt man die bei *b* austretenden Strahlen auf einem Schirme von weissem Papier auf, so erhält man auf demselben ein Bild, dessen obere Hälfte weiss, dessen untere Hälfte aber blau gefärbt ist, wenn man den Kasten bis zur Hälfte seiner Höhe mit destillirtem Wasser füllt.

Fig. 245.



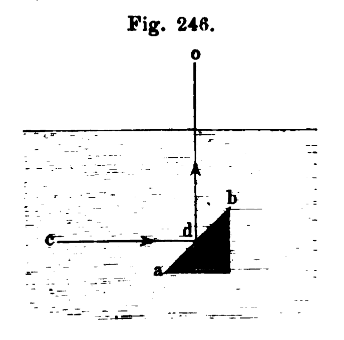
Auch subjectiv lässt sich die Erscheinung beobachten, wenn man den Spalt *a* durch diffuses Licht erleuchtet und beim Spalt *b* in den Apparat hineinschaut. Man erblickt dann auf der gegenüber liegenden Spiegelwand eine Reihe gefärbter Bilder des Spaltes *a*, dessen erstes bei *c* erscheint und von Strahlen herrührt, welche die Länge des Kastens dreimal durchlaufen haben, während die folgenden der Reihe nach weiter rechts liegenden Bilder die Länge des Kastens fünf-, sieben-, neunmal durchlaufen haben, und deshalb der Reihe nach immer dunkler gefärbt erscheinen.

Als Beetz den Kasten mit Wasser aus dem Achensee füllte, erschienen die Bilder des Spaltes *a* ebenso rein blau, als bei Anwendung von destillirtem Wasser, während das Wasser aus dem Tegernsee eine intensiv grüne Färbung zeigte.

Ein Hinderniss für die Reproduction des eben beschriebenen Beetz'schen Apparates dürfte übrigens in der Schwierigkeit liegen, die dazu nöthigen Silberspiegel zu erhalten; man wird deshalb wohl zu Blechröhren von etwa 4 m Länge seine Zuflucht nehmen müssen, welche an beiden Enden durch Platten von möglichst farblosem Spiegelglas verschlossen sind.

Um die Farbe des Lichtes zu beobachten, welches einen längeren Weg in horizontaler Richtung im Wasser des Meeres oder eines Sees zurückgelegt hat, schlug Arago vor, ein mit Luft gefülltes, ringsum wasserdicht verschlossenes Hohlprisma anzuwenden, dessen Hypotenusenfläche *ab*, Fig. 246, durch geschliffenes Spiegelglas gebildet ist. Wird dies Prisma so in Wasser eingetaucht, dass die Glasfläche *ab* einen Winkel von 45° mit der Verticalen macht, so werden die in horizontaler Richtung *cd* auf die Glasplatte fallenden Strahlen hier eine totale Reflexion erleiden und in verticaler Richtung *do* ins Auge des Beobachters gelangen. Poggendorff meinte, es genüge eine Platte von Spiegelglas in der Lage, wie *ab*, Fig. 246, ins Wasser zu versenken; es müsste aber doch wenigstens die untere Fläche dieser Glasplatte mit einer Spiegelbelegung versehen sein, wenn die nach oben reflectirte Lichtmenge nicht gar zu unbedeutend sein soll.

Fig. 246.



Als Beetz eine durch Glasplatten geschlossene, noch mit Luft gefüllte Blechröhre in der Art unter den Wasserspiegel im Tegernsee untertauchte, dass die obere Glasplatte in die Lage kam, wie *ab*, in Fig. 246, beobachtete er ein so intensiv smaragdgrünes Licht, wie er es auf anderem Wege niemals gesehen hatte, im Achensee aber ein blaues Licht, wie wenn es durch eine concentrirte Lösung von Kupfervitriol hindurchgegangen wäre.

Wittstein hat durch chemische Untersuchungen nachgewiesen (Sitzungsbericht der bayerischen Akademie, 1860), dass die grüne Farbe des Wassers organischen Beimischungen ihren Ursprung verdanke. Mit Zunahme derselben geht die blaue Farbe des Wassers allmählich in die grüne, und aus dieser, wenn das Blau immer mehr zurücktritt, in die braune über, wie man sie in norddeutschen Landseen und in den Seen des Schwarzwaldes wahrnimmt. Die Auflösung organischer Substanz in Gestalt von Humussäure ist übrigens vom Alkaligehalte des Wassers abhängig. Wasser ohne Alkali kann die Humussäure nicht auflösen.

Sainte-Claire Deville hat die Beobachtung gemacht, dass solche Wasser, welche nach der Verdampfung einen weissen Rückstand lassen, blau sind, während diejenigen, deren Rückstand gelb oder bräunlich ist, grün sind.

151 **Die allgemeine Tageshelle.** Mag nun die unvollkommene Durchsichtigkeit der Atmosphäre von den Lufttheilchen selbst herrühren, oder durch Wasserdämpfe, durch Staub oder Rauchtheilchen veranlasst sein, so ist klar, dass jedes Partikelchen, welches einen Theil des auf dasselbe fallenden Lichtes aufhält, Veranlassung zu einer Reflexion und Diffusion von Licht bietet. Diese Reflexion und Diffusion des Lichtes innerhalb der Atmosphäre ist die Ursache der allgemeinen Tageshelle.

Wäre die Luft vollkommen durchsichtig, so könnte sie nicht das mindeste Licht reflectiren, das Himmelsgewölbe müsste uns also, selbst wenn die Sonne über dem Horizonte steht, absolut schwarz erscheinen, und wo die Sonne nicht unmittelbar hinscheint, müsste vollkommene Finsterniss herrschen. Die Reflexion des Lichtes in der Atmosphäre ist aber so stark, dass bei Tage das ganze Himmelsgewölbe mehr oder weniger lebhaft erleuchtet erscheint, so dass die Sterne vor diesem gleichmässig ausgebreiteten Glanze erbleichen; ja selbst durch das Licht des Mondes erscheint das Himmelsgewölbe so stark erhellt, dass zur Zeit des Vollmondes nur noch die helleren Sterne sichtbar bleiben.

Es wird vielfach erzählt, dass man aus tiefen Bergwerksschachten und durch Schornsteine selbst bei Tage nahe dem Zenith stehende Sterne sehen könne; die Richtigkeit dieser Behauptung ist aber höchst zweifelhaft, da das Rohr, durch welches man in einem solchen Falle aufschaut, die Helligkeit des Himmelsgewölbes im Zenith nicht zu schwächen vermag. Auch versichert Humboldt (Kosmos III, S. 71 der Ausgabe von 1850), so viel er sich auch in tiefen Bergwerksschachten aufhielt, niemals eine solche Beobachtung gemacht und auch in mexikanischen, peruanischen und sibirischen Bergwerken nie ein Individuum gefunden zu haben, welches in den Gruben bei Tage Sterne gesehen hätte.

Dem durch die Atmosphäre reflectirten Lichte verdanken wir also die allgemeine Tageshelle, durch welche auch an solchen Orten, welche nicht direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, also im Schatten,

in unseren Zimmern eine gleichmässig verbreitete Helligkeit herrscht. Je grösser die Durchsichtigkeit der Luft ist, desto intensiver ist die unmittelbare Wirkung der Sonnenstrahlen und desto geringer die allgemeine Tageshelle. Bei reiner Luft ist auf dem Gipfel hoher Gebirge der Contrast in der Helligkeit beschatteter Orte und solcher, welche direct den Sonnenstrahlen ausgesetzt sind, viel bedeutender, als es unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe der Fall ist.

Die allgemeine Tageshelle ist am grössten, wenn der Himmel mit dünnen, faserigen Wölkchen überdeckt ist, weit geringer ist sie bei ganz reinem, blauem Himmel.

Die Farbe des Himmels. Wenn der Himmel nicht durch 152
Wolken oder durch einen Nebelschleier bedeckt ist, so zeigt er bekanntlich eine je nach den Umständen bald hellere, bald dunklere blaue Färbung.

Um für die Intensität dieser blauen Färbung eine wenigstens annähernd genaue Messung zu erhalten, construirte Saussure eine Vorrichtung, welche er Cyanometer nannte. Durch Anstreichen mit gutem Berlinerblau stellte er eine Anzahl von 53 Papieren dar, welche vom reinen Weiss bis zum gesättigten Blau und von diesem durch Zusatz von Tusche bis zum vollkommenen Schwarz eine Reihe gleichförmig fortschreitender Zwischenstufen bildeten. Von diesen Papieren wurden gleich grosse Stücke ausgeschnitten, und diese auf dem Umfange eines Kreises aufgeklebt. Diese 53 Nüancen von Weiss durch Blau zum Schwarz wurden Grade genannt, und die Grade wurden von Weiss anfangend gezählt.

Will man die Farbe an irgend einer Stelle des Himmels bestimmen, so hält man das Cyanometer zwischen das Auge und diese Stelle und sieht, welcher Grad der Färbung des Himmels entspricht. Die Beobachtung muss wo möglich im Freien gemacht werden, damit das Cyanometer hinreichend erleuchtet wird.

Parrot construirte zu dem gleichen Zwecke einen anderen Apparat, den man Rotationscyanometer nennen kann; es besteht aus einer weissen und einer schwarzen Scheibe, auf welchen man 1, 2, 3... Sectoren von gesättigter blauer Färbung befestigen kann. Durch rasche Umdrehung wird jede Scheibe ein gleichförmiges Ansehen erhalten. Aus der Anzahl der blauen Sectoren, die man auf die weisse oder die schwarze Scheibe bringen muss, um eine dem Blau des Himmels gleiche Färbung zu erhalten, kann man auf den Grad derselben schliessen.

Diese beiden Vorrichtungen sind in mancher Beziehung unbequem und mangelhaft. Arago machte den Vorschlag, die blaue Färbung, welche doppeltbrechende Krystallplättchen bei bestimmter Dicke im polarisirten Lichte zeigen, zur Vergleichung mit dem Himmelsblau anzuwenden. Das Blau solcher Krystallblättchen erreicht nämlich seine grösste Intensität, wenn das einfallende Licht vollkommen polarisirt ist; je unvollständiger aber die Polarisation der einfallenden Strahlen ist,

desto blasser und mehr dem Weiss sich nähernd wird die blaue Färbung des Blättchens. Aber auch die Herstellung und Ausführung eines auf dieses Princip gegründeten Cyanometers stösst auf mannigfache Schwierigkeiten und es scheint bis jetzt wenigstens das Polarisationscyanometer noch nicht in die Praxis eingetreten zu sein.

Schon eine oberflächliche Betrachtung des heiteren Himmels zeigt uns, dass die blaue Färbung desselben im Zenith am intensivsten ist, und dass sie nach dem Horizont hin mehr und mehr weisslich wird. An einem heiteren Tage fanden Saussure in Genf und Humboldt auf dem Atlantischen Ocean (16° 19′ nördlicher Breite) für die Bläue des Himmels in verschiedenen Höhen über dem Horizonte folgende Werthe:

Höhe	Cyanometergrade	
	Humboldt	Saussure
1°	3,0°	4,0°
10	6,0	9,0
20	10,0	13,0
30	16,5	15,5
40	18,0	17,5
60	22,0	20,0

Auf den Gipfeln hoher Berge erscheint der Himmel weit dunkler als in den Ebenen. So fand Saussure die Färbung des Zeniths auf dem Col du géant gleich 31° seines Cyanometers, während gleichzeitig zu Genf nur 22,5° beobachtet wurden. An einem sehr schönen Tage stieg auf dem Col du géant die Farbe des Zeniths auf 37°; auf dem Gipfel des Montblanc wurden sogar 39° beobachtet.

In wärmeren Ländern ist die Farbe des Himmels tiefer blau als in solchen, welche weiter vom Aequator entfernt liegen; bei gleicher geographischer Breite ist der Himmel der Binnenländer blauer, als auf dem Meere und den Küstenländern, was leicht begreiflich ist, wenn man bedenkt, dass das reine Blau des Himmels besonders durch die in der Luft schwebenden condensirten Wasserdämpfe, durch feine Nebel gebleicht wird, welche den Himmel mit einem leichten Schleier überziehen, ohne doch schon dicht genug zu sein, um Wolken zu bilden.

Während das Blau des Himmels offenbar von dem in der Atmosphäre reflectirten Lichte herrührt, zeigen Lichtstrahlen, welche einen weiten Weg durch die unteren dichteren Schichten des Luftmeeres zurückgelegt haben, eine tiefgelbe bis ins Rothe spielende Färbung. Während der Mond, wenn er hoch über dem Horizonte steht, mit einem weissen, ja etwas bläulichen Lichte strahlt, sehen wir dieses Gestirn oft blutroth aufgehen, und ebenso ist die prachtvolle Erscheinung des Morgen- und

Abendrothes ein Beweis dafür, dass die Atmosphäre vorzugsweise orangefarbenen und rothen Strahlen den Durchgang gestattet.

Erklärung der blauen Farbe des Himmels und des 153
Abendrothes. Viele Physiker, und unter diesen besonders Brandes, suchen die blaue Farbe des Himmels und das Abendroth einfach durch die Annahme zu erklären, dass die Luft vorzugsweise die blauen Strahlen reflectire, dagegen aber die gelben und rothen vollständiger durchlasse als alle anderen.

Nach der Meinung von Forbes (Pogg. Ann. XLVI, 349; XLVII, 593) rührt aber wenigstens die Erscheinung des Abend- und Morgenrothes nicht sowohl von der Luft selbst, als vielmehr von dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe her.

Eines Tages stand Forbes neben einem Dampfwagen, der durch sein Sicherheitsventil eine grosse Menge Dampf entliess; zufällig sah er durch die aufsteigende Dampfsäule nach der Sonne und war überrascht, sie sehr tief orangeroth gefärbt zu sehen. Später beobachtete er noch öfters dasselbe Phänomen und entdeckte eine wichtige Abänderung desselben. Nahe über dem Sicherheitsventile, zu welchem der Dampf herausblies, war dessen Farbe für durchgehendes Licht das erwähnte tiefe Orangeroth; in grösserer Entfernung jedoch, wo der Dampf vollständiger verdichtet war, hörte die Erscheinung gänzlich auf. Selbst bei mässiger Dicke war die Dampfwolke durchaus undurchdringlich für die Sonnenstrahlen, sie warf einen Schatten wie ein fester Körper; und wenn ihre Dicke gering war, so war sie zwar durchscheinend, aber durchaus farblos. Forbes meinte nun, die Orangefarbe des Dampfes gehöre einer besonderen Stufe der Verdichtung an, bei vollkommener Gasgestalt sei der Wasserdampf ganz durchsichtig und farblos, in jenem Uebergangszustande aber sei er durchsichtig und rauchroth. Vollständig zu Nebelbläschen verdichtet, ist die durch dieselben gebildete Wolke bei geringer Dicke durchscheinend und farblos, bei grosser Dicke vollkommen undurchsichtig.

Die Annahme eines solchen Uebergangszustandes ist, wie sich aus den im nächsten Paragraphen zu besprechenden Thatsachen ergiebt, ganz überflüssig, indem der Wasserdampf in vollkommen gasförmigem Zustande stark absorbirend auf die violetten und blauen Strahlen des Spectrums wirkt und vorzugsweise nur die gelben und rothen Strahlen durchlässt. Das Abendroth erklärt sich dadurch, dass die Sonnenstrahlen einen weiten Weg durch die tieferen, reichlich mit Wasserdampf beladenen Luftschichten zu durchlaufen haben. Das Morgenroth ist durchschnittlich weniger feurig als das Abendroth, weil die Luft in den Morgenstunden meist weniger Wasserdampf enthält als in den Abendstunden. Ein lebhaft gefärbtes Morgenroth ist ein Beweis, dass der Wassergehalt der Luft für diese Tagesstunden ungewöhnlich gross, und deshalb meist ein Vorbote baldigen Regens ist.

Eine mit der Abendröthe häufig vorkommende Erscheinung sind die Dämmerungsstrahlen (rayons crépusculaires), Fig. 247, welche entstehen, wenn in der Luft schwebende Cumulus- oder Stratocumuluswolken durch Lücken unterbrochen sind und die Sonne, durch diese hindurchscheinend, einzelne Partien der Atmosphäre erleuchtet, während ihre Umgebung im Schatten bleibt. In Wirklichkeit sind die durch die Lücken einer Wolke hindurchdringenden Lichtstreifen unter sich parallel und die Querschnitte jedes einzelnen Strahles sind überall von gleicher Form und Grösse; dass sie conisch und fächerförmig divergirend erscheinen, ist lediglich eine Wirkung der Perspective.

Wenn die Dämmerungsstrahlen bei noch ziemlich hoch stehender Sonne vorzugsweise nach unten gerichtet erscheinen und eine blassgelbliche Färbung zeigen, so pflegt man zu sagen, die Sonne ziehe Wasser.

Fig. 247.



Ein solcher Zustand des Abendhimmels ist ein ziemlich sicheres Zeichen bald eintretenden Regens.

Bei heiterem Wetter sind die Dämmerungsstrahlen oft selbst nach Untergang der Sonne noch sichtbar, und sehr schön zeigt sich diese Erscheinung namentlich in den Tropenländern. Nach einer Mittheilung von Dr. Ernst in Carácas bemerkt man daselbst an klaren Abenden am westlichen Horizonte nach Sonnenuntergang drei bis vier deutlich begrenzte rothe Strahlenbüschel, welche durch blaue Intervalle getrennt erscheinen und gegen die bereits unter dem Horizonte befindliche Sonne convergiren. Die rothen Strahlen erheben sich nicht selten bis zu 60° über den Horizont und bleiben oft eine halbe Stunde lang sichtbar. Die Erscheinung ist dieselbe, welche in Ceylon und vielleicht auch in anderen Gegenden Ostindiens unter dem Namen Buddha's rays bekannt ist. Sie ist offenbar durch Wolken bedingt, welche noch unter dem Horizonte liegen.

Clausius suchte die blaue Färbung des wolkenfreien Himmels auf Wasserbläschen zurückzuführen und zu beweisen (Pogg. Ann. LXXVI), dass die atmosphärische Reflexion weder von feinen, undurchsichtigen, in der Luft schwebenden fremden Partikelchen, noch von massiven Wasserkugeln herrühren könne, sondern dass dieselbe von den zarten, in der Luft schwebenden Wasserbläschen abzuleiten sei.

Diese Wasserbläschen verhalten sich nun ganz wie mikroskopische Seifenbläschen; sie werden eine von der Dicke der dünnen Wasserhülle abhängige Farbe reflectiren; bei der geringsten Dicke, bei welcher eine dünne Schicht überhaupt eine Färbung wahrnehmen lässt, zeigt sich das Blau erster Ordnung. Wenn demnach in der Luft nur solche Wasserbläschen schweben, deren Hülle die Dicke nicht überschreitet, welche das Blau erster Ordnung liefert, so müssen sie nach der Ansicht von Clausius den Himmel mit dem Blau erster Ordnung überziehen.

Wenn die Luft feuchter wird, so werden die schon vorhandenen Bläschen an Dicke zunehmen, zugleich aber bilden sich von Neuem die feinen Bläschen, so dass dann von einer bestimmten Grenze der Dicke bis zu den feinsten herab Wasserbläschen von allen Zwischenstufen gleichzeitig in der Luft schweben; es kann deshalb auch der Himmel nicht etwa die Farbe irgend einer dickeren Schicht annehmen, sondern das Zusammenwirken aller weiteren Farben, welche die einzelnen Bläschen etwa noch liefern mögen, kann zusammen nur eine weissliche Farbe hervorbringen, welche das reine Blau des Himmels um so mehr bleicht, je mehr dickere Bläschen den feineren beigemischt sind.

Schon Newton hatte die Ansicht ausgesprochen, dass das Blau des Himmels das Blau erster Ordnung sei, ohne jedoch diese Ansicht weiter auszuführen oder zu begründen, wie dies von Clausius geschehen ist. Wenn man aber mit Aufmerksamkeit die Farben der Newton'schen Ringe betrachtet, so wird man gestehen müssen, dass in der ganzen ersten Ordnung kein Blau vorkommt, welches sich auch nur entfernt mit dem prachtvollen Blau des Himmels vergleichen liesse. Das Blau erster Ordnung ist ein nur wenig ins Blaue spielendes Weiss; das Schwarz des centralen Fleckes geht durch ein bläuliches Grau in bläuliches Weiss und dieses in Gelblichweiss über. Von dieser Seite also scheint die Theorie von Clausius wohl einer Ergänzung zu bedürfen, um mit den vorliegenden Thatsachen in Uebereinstimmung gebracht zu werden; zu einer solchen Uebereinstimmung könnte man aber auf folgendem Wege gelangen.

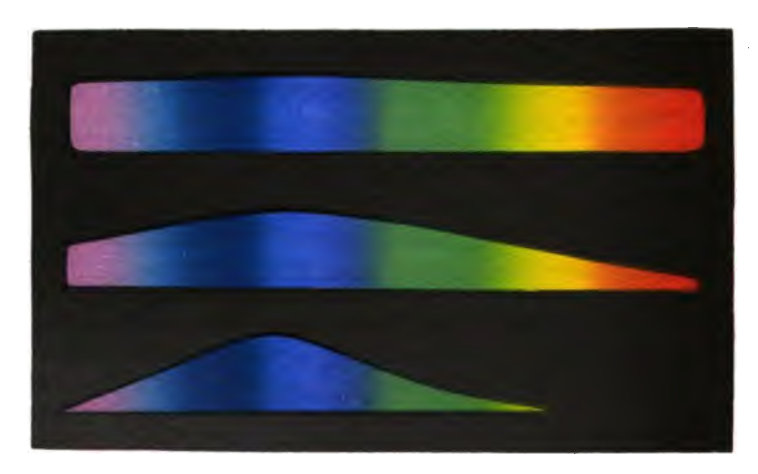
Der oberste Streifen in Fig. 248 (a. f. S.) zeigt nach der in dem Lehrbuche der Physik näher erörterten Weise, wie das Blau erster Ordnung zusammengesetzt ist. Während das Blau vollständig reflectirt wird, bleibt von dem zum reinen Weiss gehörigen Violett noch 0,96, von dem zum reinen Weiss gehörigen Roth noch 0,83 übrig. Man sieht nun leicht ein, dass in dem Blau erster Ordnung von allen Farben des Spec-

trums noch so viel übrig bleibt, dass ein entschiedenes Vorherrschen von Blau unmöglich ist.

Wenn aber das Blau erster Ordnung, welches von einem ersten Wasserbläschen reflectirt wird, auf ein zweites fällt, so wiederholt sich derselbe Vorgang. Bezeichnen wir die Intensität des von dem zweiten Wasserbläschen reflectirten Blau mit 1, so ist die Intensität des vom zweiten Bläschen reflectirten Violett nur noch $0{,}96^2$ und des vom zweiten Bläschen reflectirten Roth nur noch $0{,}83^2$.

So wird denn bei jeder folgenden Reflexion von einem solchen feinen Wasserbläschen der Antheil aller übrigen Farben, welche das Vorherrschen des Blau abschwächen können, mehr und mehr verringert. Bezeichnen wir die Intensität des Blau nach zehnmaliger Reflexion (d. h. nachdem die Lichtstrahlen der Reihe nach von zehn Wasserbläschen

Fig. 248.



reflectirt worden sind, deren jedes für sich im weissen Lichte Blau der ersten Ordnung zeigt) mit 1, so ist die Intensität des Violett nach zehnmaliger Reflexion nur noch $0{,}96^{10} = 0{,}66$ und die des Roth nur noch $0{,}83^{10} = 0{,}15$.

Der mittlere Streifen in Fig. 248 zeigt die Zusammensetzung der Farbe, welche von dem ursprünglich weissen Lichte bleibt, nachdem es der Reihe nach von zehn Bläschen reflectirt worden ist, von welchen jedes für sich allein im weissen Lichte das Blau erster Ordnung zeigt. In gleichem Sinne stellt der unterste Streifen in Fig. 248 das Blau erster Ordnung nach 100maliger Reflexion dar.

Man sieht nun leicht, wie durch wiederholte Reflexion des Lichtes auf dünnen Wasserbläschen, von denen jedes einzelne nur ein ganz blasses, weissliches Blau liefern würde, eine sehr intensive blaue Färbung entstehen kann, und somit dürfte wohl das Blau des Himmels, wenn

auch kein einfaches, doch ein gewissermaassen potenzirtes Blau erster Ordnung sein.

154 **Atmosphärische Linien.** Schon in §. 137 ist von atmosphärischen Linien die Rede gewesen, welche sich im Sonnenspectrum zeigen. Es treten nämlich bei niedrigem Stande der Sonne im Sonnenspectrum dunkle Linien und Bänder auf, welche zur Mittagszeit gar nicht oder doch nur schwach sichtbar sind. Diese Linien rühren von einer Lichtabsorption in der Atmosphäre her und werden grossentheils durch die Gegenwart des Wasserdampfes in der Luft bedingt.

Man kann diese Linien am einfachsten beobachten, wenn man mit einem geradlinigen Spectroskop nach dem durch die untergehende Sonne gerötheten Himmel schaut. Man sieht dann, wie das Spectrum Nr. 2 auf Tab. 10 zeigt, in dem weniger brechbaren Theile des Spectrums dunkle Bänder, von welchen bei höherem Stande der Sonne nichts wahrzunehmen ist, und von denen besonders zwei auffallen, welche in einem hellen gelben Streifen getrennt erscheinen und von denen das eine mit δ bezeichnet ist. Fig. 249 (a. f. S.) ist eine verkleinerte Copie der sorgfältig ausgeführten Abbildung, welche Angström in dem Atlas zu seinen „Recherches sur le spectre solair“ (Upsala 1868) von den atmosphärischen Linien gegeben hat. Das von δ zunächst nach dem Roth hin liegende dunkle Band deckt die Fraunhofer'sche Linie *D*. Selbst wenn die Sonne noch etwas höher steht, so dass die dunklen Bänder bei *D* und δ noch nicht merklich vortreten, erscheint doch schon der Zwischenraum zwischen ihnen als ein heller gelber Streif auf etwas dunklerem Grunde.

Der Erste, welcher die Veränderlichkeit der sogenannten atmosphärischen oder tellurischen Linien beobachtete, war Zantedeschi. Nach ihm haben sich zunächst Brewster und Gladstone mit dem Studium derselben beschäftigt und eine Zeichnung derselben veröffentlicht (Phil. Trans. 1860, T. 150). Die beste Abbildung derselben ist ohne Zweifel die bereits erwähnte Angström'sche, deren Copie in Fig. 249 gegeben ist.

Janssen fand im Jahre 1864, dass die atmosphärischen Linien auf dem Gipfel des Faulhorn (2683 m Meereshöhe) weit weniger intensiv erscheinen als in der Ebene. Bei Genf liess Janssen des Nachts einen Scheiterhaufen von Tannenholz anzünden, und beobachtete die Flammen aus einer Entfernung von 21 000 m durch ein Spectroskop. Das so beobachtete Spectrum zeigte dieselben atmosphärischen Absorptionsstreifen, wie das Spectrum der untergehenden Sonne, während eine solche Flamme, in der Nähe beobachtet, ein continuirliches Spectrum liefert. Aehnliche Beobachtungen stellte auch Secchi in Rom an.

Dass die atmosphärischen Linien zum grossen Theil wenigstens vom Wasserdampf in der Luft herrühren, hat Janssen dadurch bestätigt, dass er das Licht von 16 combinirten Gasflammen durch eine 37 m lange,

an beiden Enden durch starke Platten von Spiegelglas geschlossene eiserne Röhre beobachtete, welche mit gesättigtem Wasserdampf von sieben Atmosphären Spannkraft gefüllt war. Es zeigte sich ein Absorptionsspectrum, dessen dunkle Linien sich sämmtlich unter den tellurischen Linien des Spectrums der untergehenden Sonne wiederfinden, während sich diese Absorptionslinien nicht zeigten, wenn die Röhre nicht mit Wasserdampf, sondern mit trockener Luft gefüllt war.



Fig. 249.

Angström hat übrigens den Beweis geliefert, dass keineswegs alle mit dem Stande der Sonne veränderlichen und deshalb als tellurische zu bezeichnenden Linien vom Wasserdampf der Atmosphäre herrühren. Im Januar 1864 beobachtete er zu Upsala bei einer Temperatur von — 27° C. wiederholt das Sonnenspectrum. Die tellurischen Streifen bei *D*, *C* und *a*, sowie diejenigen zwischen *a* und *B* waren fast vollständig verschwunden, während die Gruppen *A* und *B*, und eine dritte, ungefähr in der Mitte zwischen *D* und *C* gelegene und in unserer Figur mit *α* bezeichnete, sehr intensiv waren. Dasselbe gilt von dem Absorptionsstreifen *δ*, links von *D*. Bei genügender Vergrösserung lässt sich der Schattenstreifen *δ*, wenn er eben merklich zu werden beginnt, in sehr feine Linien auflösen; beim Untergang der Sonne aber vereinigen sich diese Linien und bilden ein zusammenhängendes, dunkles Band.

Diese Absorptionspartien bei *A* und *B*, *α* und *δ* rühren also nicht von Wasserdampf, sondern höchst wahrscheinlich von einem zusammengesetzten permanenten Gase, vielleicht von Kohlensäure, her.

In unserer Figur sind die von Wasserdampf herrührenden Absorptionsstreifen am unteren Rande mit *W*, die übrigen atmosphärischen Absorptionspartien sind mit *K* bezeichnet.

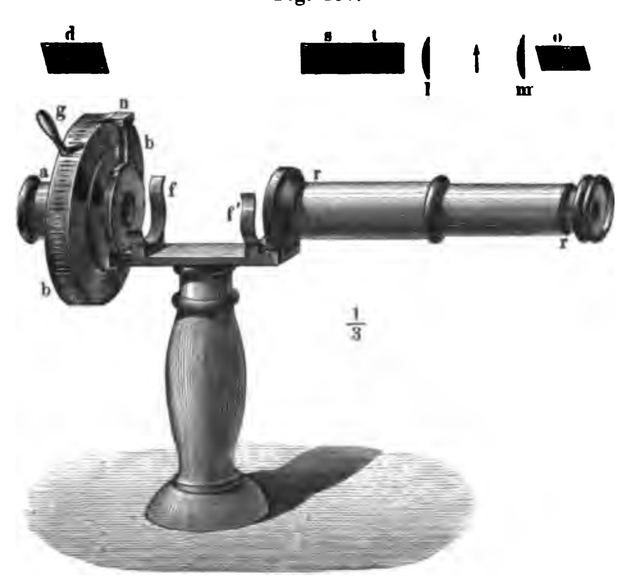
Indem die Sonne sich dem Horizonte nähert, schreitet die atmosphärische Lichtabsorption ungefähr in folgender Weise voran. Zuerst verschwindet der violette Theil des Spectrums bis *G*. Während dann die Absorption von *G*

gegen das Roth hin fortschreitet, treten die oben besprochenen Absorptionsbänder und Linien im Roth und Gelb auf, und zwar um so dunkler werdend, je tiefer die Sonne sinkt. Zuletzt bleiben nur noch die hellen Partien im Roth und Orange zwischen B und D, und die grüngelbe Partie unmittelbar links von δ; am hellsten aber bleibt der Zwischenraum zwischen D und δ.

Durch diese einfachen Absorptionsphänomene erklären sich nun die Erscheinungen der Morgen- und Abendröthe weit einfacher, als durch die übrigen zu diesem Zwecke aufgestellten Theorien.

Polarisation des blauen Himmels. Da das Licht, welches 155
uns irgend ein Punkt des blauen Himmelsgewölbes zusendet, ursprüng-

Fig. 250.



lich von der Sonne ausgehendes, aber von den einzelnen Lufttheilchen reflectirtes Licht ist, so muss es auch die Erscheinung einer partiellen Polarisation zeigen.

Die Polarisation der Atmosphäre wurde im Jahre 1809 zuerst von Arago beobachtet. Schon eine einfache, parallel mit der Axe geschliffene Turmalinplatte oder ein Nicol'sches Prisma genügt, um die Erscheinung zu beobachten, am schönsten zeigt sie sich aber bei Anwendung des Polariskops von Savart. Es besteht dasselbe aus einer Combination zweier gleich dicker, unter einem Winkel von 45° gegen die optische Axe geschnittener, gekreuzter Quarzplatten mit einem Polarisator, also einer Turmalinplatte oder einem Nicol'schen Prisma, dessen Schwingungsebene

einen Winkel von 45° mit den beiden Schwingungsebenen der Quarzplatten macht. Das an dem Apparat Fig. 250 (a. v. S.) befindliche Rohr *rr* ist nichts Anderes, als ein Savart'sches Polariskop. Man braucht dasselbe, nachdem es von dem Stativ abgeschraubt worden ist, nur gegen einen Punkt des blauen Himmels zu richten, um die fraglichen Farbenstreifen zu sehen, deren Intensität zu- oder abnimmt, wenn man das Rohr bei unveränderter Richtung um seine Axe dreht. Hat man nun das Rohr so gedreht, dass bei schwarzem Mittelstreifen (vorausgesetzt, dass die beiden Quarzplatten *s* und *t* genau gleich dick sind) die Curven möglichst kräftig erscheinen, so steht die Schwingungsebene des Nicols rechtwinkelig auf der Schwingungsrichtung der vom beobachteten Punkte des Himmels kommenden Strahlen. Dreht man von dieser Stelle aus das Rohr *rr* um seine Axe, so werden die Streifen blasser und verschwinden, wenn man um 45° gedreht hat. Dreht man noch weiter, so erscheinen die Streifen wieder, ihre Farben sind aber complementär zu den zuerst beobachteten, und diese complementären Streifen mit Weiss in der Mitte erreichen ihre grösste Lichtstärke, wenn die Schwingungsebene des Nicols parallel ist mit der Schwingungsebene der einfallenden Strahlen.

Wenn man nun mit diesem Instrumente das Licht solcher Punkte des blauen Himmels untersucht, welche nicht zu nahe am Horizonte liegen, so findet man, dass die Schwingungen des Lichtes, welches sie uns zusenden, rechtwinkelig sind zu der Ebene, welche man sich durch den betrachteten Punkt des Himmels, durch das Auge des Beobachters und die Sonne gelegt denken kann, wie sich dies nach den Gesetzen der Polarisation nicht anders erwarten liess. Wir wollen diese Lage der Schwingungsebene als positive Polarisation bezeichnen.

Untersucht man zur Zeit des Sonnenunterganges das Licht des Himmels in der durch die Sonne und das Zenith gelegten Verticalebene, so findet man, dass die Polarisation in der Nähe der Sonne äusserst schwach ist, dass sie aber mit der Entfernung von der Sonne stärker wird und in einem Abstande von 90° von der Sonne ihr Maximum erreicht, um jenseits dieses Punktes wieder bis zu einem von Arago aufgefundenen neutralen Punkte abzunehmen, der übrigens nicht mit dem der Sonne diametral gegenüber liegenden antisolaren Punkte zusammenfällt, sondern nach Arago's Bestimmungen 20 bis 30° über demselben liegt.

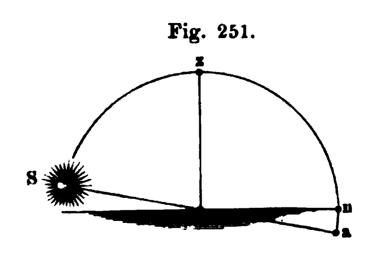
Nach Brewster's Beobachtungen ändert sich die Entfernung des Arago'schen neutralen Punktes von dem antisolaren mit dem Stande der Sonne. Wenn die Sonne noch $11^1/_2{}^0$ über dem Horizonte steht, der antisolare Punkt *a*, Fig. 251, also $11^1/_2{}^0$ unter dem Horizonte liegt, so liegt der neutrale Punkt gerade im Horizonte. Wenn die Sonne eben untergeht, so beträgt der Abstand zwischen dem antisolaren Punkte *a*, Fig. 252, und dem neutralen *n* $18^1/_2{}^0$; gegen Ende der Dämme-

rung, wenn also die Sonne unter den Horizont gesunken ist, beträgt der Abstand zwischen den Punkten *a* und *n*, Fig. 253, 25°.

Während die Polarisation der Strahlen vom Zenith bis zum neutralen Punkte eine positive ist, d. h. während die Schwingungsebene der entsprechenden Strahlen eine horizontale ist, ist die Polarisation der Strahlen, welche von Punkten zwischen *n* und dem Horizonte kommen, eine negative, d. h. die Schwingungsebene dieser Strahlen ist vertical.

In der durch die Sonne gelegten Verticalebene hat Babinet einen zweiten neutralen Punkt *b* aufgefunden, welcher ungefähr ebenso hoch über der Sonne steht, wie *n* über *a*, einen dritten, ebenso tief unter der Sonne stehenden, aber sehr schwer zu beobachtenden, neutralen Punkt hat endlich Brewster aufgefunden.

Fig. 251.



Die Existenz der neutralen Punkte sowohl, wie auch die negative Polarisation des Himmels in der Nähe des Horizontes (Zusammenfallen der Schwingungsebene der Strahlen mit der Ebene, welche man durch die Sonne, das Auge und den tiefliegenden Punkt des Himmels gelegt denken kann, von dem die Strahlen kommen) erklärt sich durch die secundären Reflexionen, welche das Licht in der Atmosphäre erleidet. Das Licht, welches uns irgend ein Punkt des Himmels zusendet, ist zum Theil direct reflectirtes Sonnenlicht, und dieses ist stets positiv polarisirt (Schwingungsebene rechtwinkelig zu der durch die Sonne, das Auge und den beobachteten Punkt gelegten Ebene), zum Theil aber auch Licht, welches bereits von anderen Punkten des Himmels reflectirt worden ist und hier eine aber-

Fig. 252.

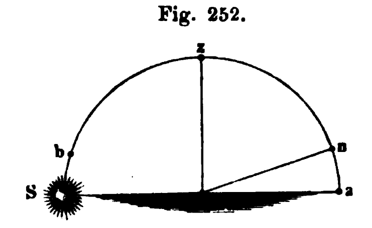
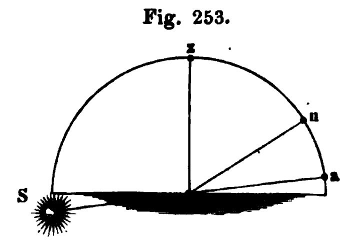


Fig. 253.



malige Reflexion erleidet. Die wiederholt in der Atmosphäre reflectirten Strahlen werden aber zum Theil negative Polarisation zeigen. Für höhere Punkte des Himmels herrscht die positive, für solche, welche dem Horizonte näher liegen, herrscht die negative Polarisation vor.

Es versteht sich von selbst, dass alles eben Gesagte nur vom unbewölkten Himmel gilt. Wolken zeigen keine Polarisation, und bedeutende Wolkenmassen stören auch den Polarisationszustand des übrigen Himmels.

Hagenbach hat die Beobachtung gemacht, dass nicht allein das Licht des blauen Himmels, sondern auch das Licht polarisirt ist, welches uns

die von der Sonne erleuchteten Luftschichten zusenden, welche zwischen uns und entfernten Gebirgszügen liegen. Diese Polarisation zeigt sich immer sehr deutlich, wenn der Hintergrund dunkel und die zwischenliegende Luftschicht nicht zu klein ist. Wenn entfernte Gebirge durch die Wirkung des reflectirten Lichtes der zwischenliegenden Luftschichten undeutlich geworden sind, so lassen sie sich mit Hülfe eines passend gestellten Nicol'schen Prismas, welches einen Theil der von der Luftschicht reflectirten Strahlen wegnimmt, viel deutlicher sichtbar machen. Diese Wirkung des Nicols zeigt sich ebenso gut, man mag nun mit blossem Auge oder durch ein Fernrohr beobachten. Von dem Chrischonaberg (auf dem rechten Rheinufer bei Basel) aus konnte Hagenbach an einem schönen Tage die Berner Alpen kaum wahrnehmen, sie wurden aber deutlich und scharf sichtbar, als er ein Nicol vor das Ocular des Fernröhrchens brachte.

156 **Die Polaruhr.** Eine sehr sinnreiche Anwendung der Polarisation des blauen Himmels ist Wheatstone's Polaruhr, mittelst deren man aus der Lage der Polarisationsebene des sichtbaren Poles des Himmels, bei uns also des Nordpoles, auf die Zeit schliessen kann.

Fig. 254.

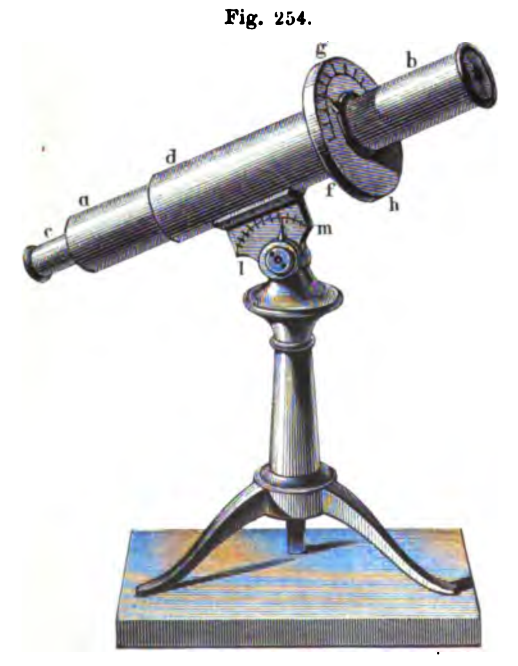


Fig. 255.



Im Wesentlichen ist diese Polaruhr nichts Anderes, als ein gegen den Himmelspol gerichtetes und um seine Axe drehbares Polariskop, welches so gefasst ist, dass man die Drehung desselben an einem entsprechend getheilten Kreise ablesen kann. In Ermangelung eines besonderen Modelles mag Fig. 254 dazu dienen, die Einrichtung der Polaruhr zu erläutern; *ab* ist das Rohr des Polariskops, an welchem bei *c* das Ocularnicol undrehbar gegen *ab* befestigt ist. Das Rohr *ab* steckt

in der Hülse *d* und kann in derselben frei um seine Axe gedreht werden. Die auf einem passenden Stativ befestigte Hülse *d* trägt einen getheilten Kreis, über dessen Theilung sich ein am Rohre *ab* befestigter Zeiger hinbewegt, wenn das Rohr *ab* gedreht wird. Fig. 255 zeigt diesen in Stunden und Viertelstunden getheilten Kreis mit dem Zeiger in doppeltem Maassstabe der Fig. 254.

Die Polarisation des Nordpoles des Himmels ist stets positiv, d. h. die Schwingungsebene der Strahlen, welche uns der Nordpol des Himmels zusendet, ist rechtwinkelig zu dem jeweiligen Stundenkreise der Sonne. Wenn also der Zeiger so an dem Rohre *ab* befestigt ist, dass er in die Schwingungsebene des Ocularnicols fällt, so werden die Farbenstreifen des Savart'schen Polariskops mit schwarzem Mittelstreifen möglichst brillant erscheinen, wenn das Rohr *ab* so gedreht ist, dass der Zeiger in die Ebene des Stundenkreises der Sonne zu liegen kommt.

Morgens um 6 Uhr muss demnach der Zeiger eine horizontale, Mittags um 12 Uhr muss er eine verticale Stellung haben. Die beiden Theilstriche, welche in die durch den Mittelpunkt der Theilung gelegte Horizontale fallen, sind mit 6 bezeichnet; von demjenigen dieser beiden Punkte, welcher bei richtiger Aufstellung des Instrumentes auf der Ostseite liegt, sind die Stunden von 6 weiter gezählt bis zum obersten Theilstrich der Theilung, welcher mit 12 bezeichnet ist, auf dem folgenden Quadranten von 12 bis zum westlichen 6 sind dann die Nachmittagsstunden 1, 2, 3 etc. aufgetragen.

Da aber die Sonne im Sommer vor 6 Uhr Morgens auf- und erst nach 6 Uhr Abends untergeht, und da man den Polarisationszustand des Nordpols des Himmels schon in der Morgen- und Abenddämmerung beobachten kann, ehe noch die Sonne selbst über dem Horizont steht, so beginnt die Theilung auf der Ostseite des Kreises auch schon um einige Stunden vor 6 Uhr Morgens und ist bis auf einige Stunden nach 6 Uhr Abends fortgesetzt.

Die Neigung des Rohres *ab* gegen die Horizontale lässt sich beliebig ändern, und die Grösse dieser Neigung lässt sich auf dem Gradbogen *lm* ablesen.

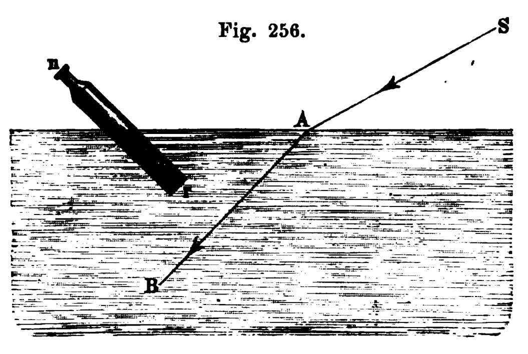
Das Instrument wird nun so aufgestellt, dass die Verticalebene des Rohres in den Meridian des Beobachtungsortes fällt, und dann das Rohr so geneigt, dass der Winkel, welchen es mit der Horizontalen macht, gleich ist der Polhöhe des Beobachtungsortes; kurz, man stellt es so auf, dass das Rohr *ab* gerade gegen den Nordpol des Himmels gerichtet ist. Nun wird das Rohr *ab* um seine Axe innerhalb der Hülse *df* umgedreht, bis die Streifen möglichst scharf erscheinen, und dann die entsprechende, von dem Zeiger angedeutete Zeit auf dem getheilten Kreise abgelesen.

Polarisation des blauen Wassers. Soret hat die interessante 157
Beobachtung gemacht, dass auch das Licht des von der Sonne erleuchteten blauen Wassers der Seen polarisirt ist. Der Apparat, dessen er sich be-

diente, um diese Thatsache zu constatiren, war ein Rohr *nr*, Fig. 256, dessen Objectivende durch eine wasserdicht eingesetzte Platte von Spiegelglas geschlossen war, während ein Nicol'sches Prisma *n* das Ocularende der Röhre bildete. Taucht man nun an einer Stelle, an welcher das Wasser so tief ist, dass man den Grund nicht mehr sehen kann, das Objectivende des Rohres in das Wasser, wie Fig. 256 zeigt, so kann man die Polarisation des durch die Sonnenstrahlen erleuchteten Wassers beobachten, wenn man, in das Rohr hineinschauend, das Nicol um seine Axe dreht. Soret hat seine Versuche im Genfersee angestellt, dessen Wasser bekanntlich durch eine wunderbar schöne blaue Farbe ausgezeichnet ist.

Wenn bei ruhigem Wetter die Oberfläche des Wassers möglichst eben ist, so werden die parallel mit SA, Fig. 256, einfallenden Sonnenstrahlen parallel mit AB in das Wasser eindringen. Man beobachtet nun ein Maximum von Polarisation, wenn das Rohr *nr* rechtwinkelig steht zu der Richtung AB der in das Wasser eingedrungenen Sonnenstrahlen, also am einfachsten, wenn bei entsprechender Neigung des Rohres die durch seine Axe gelegte Verticalebene mit der Verticalebene der Sonne zusammenfällt.

Fig. 256.



Die Polarisationsebene der unter diesen Umständen in das Rohr *nr* eindringenden Lichtstrahlen fällt mit dieser Verticalebene zusammen, die Vibrationen, welche diese Strahlen fortpflanzen, gehen also in horizontaler Richtung, rechtwinkelig zu der bezeichneten Verticalebene vor sich.

Je mehr die Oberfläche des Wassers bewegt ist, desto unvollständiger wird die Polarisation, weil nun die Sonnenstrahlen nicht mehr parallel unter sich, sondern nach den verschiedensten Richtungen in das Wasser eindringen. Wenn die Sonne nicht scheint, ist auch keine merkliche Polarisation wahrzunehmen, weil in diesem Falle das Wasser von verschiedenen Seiten her nahezu gleich stark erleuchtet ist. Auch beim hellsten Sonnenschein ist die Polarisation des Wassers doch nur eine partielle, weil die directen Sonnenstrahlen nicht die einzige Erleuchtungsquelle bilden.

Hagenbach fand durch Versuche, welche er im Luzerner See anstellte, die Beobachtungen Soret's vollkommen bestätigt. Nachdem er das Rohr in die dem Maximum der Polarisation entsprechende Lage, Fig. 256, gebracht und seine Stellung gegen den Kahn fixirt hatte, liess er den Kahn langsam eine Drehung um seine verticale Mittellinie machen.

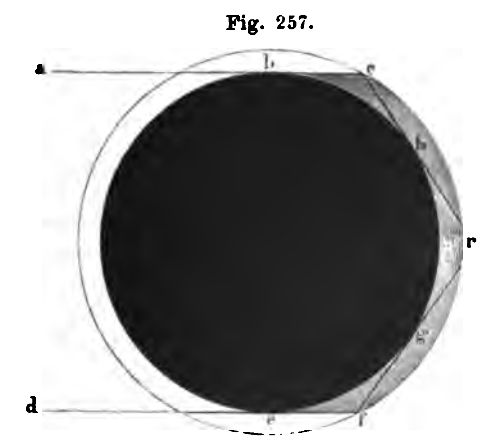
Dabei nahm die Stärke der Polarisation allmählich ab und verschwand endlich ganz, nachdem die Drehung bis auf 180° gewachsen war.

Die eben besprochene Polarisation rührt jedenfalls von einer Reflexion des Lichtes im Inneren des Wassers her, und überwiegt bedeutend die schwache, zu ihr rechtwinkelige Polarisation, welche durch die Brechung den in das Wasser eintretenden Strahlen ertheilt wird.

Soret nimmt an, dass sowohl die Farbe als auch die Polarisation des aus dem Wasser austretenden Lichtes von der Reflexion an der Oberfläche kleiner im Wasser suspendirter Partikelchen herrühre, während Hagenbach annimmt, dass sie wenigstens zum Theil durch einfache Reflexion an der Grenze ungleich erwärmter Wasserschichten bedingt sein könne. Durch Reflexion an der Grenze ungleich erwärmter Luftschichten liesse sich dann auch das blaue Licht und die Polarisation des Himmelsgewölbes erklären.

Die Dämmerung. Wenn die Luft absolut durchsichtig wäre, so 158
müsste gleich nach Sonnenuntergang eine vollständige Finsterniss eintreten; allein vor Sonnenaufgang sowohl als auch nach Sonnenuntergang wird über die Erdoberfläche eine namhafte Zeit hindurch eine ziemliche Helligkeit verbreitet, welche lediglich von einer Reflexion und Diffusion des Lichtes in der Atmosphäre herrührt.

Fig. 257.



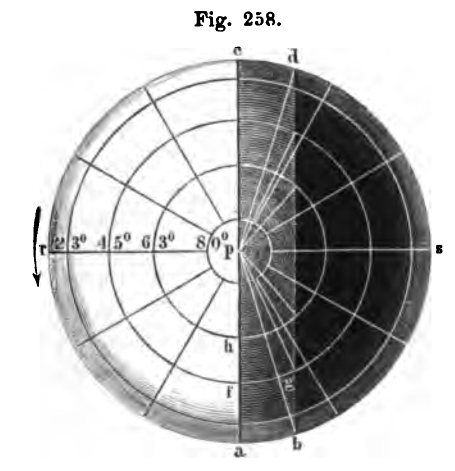
Man rechnet gewöhnlich die Dauer der Abenddämmerung von Sonnenuntergang bis zu der Zeit, zu welcher man aus Mangel an Helligkeit die Arbeiten im Freien einstellen muss, oder bis zu dem Zeitpunkte, in welchem man in einem ziemlich frei liegenden Hause die Lampen anzuzünden pflegt. Es ist dies der Fall, wenn die Sonne ungefähr bis zu 6° unter den Horizont hinabgesunken ist. Die astronomische Dämmerung dauert aber länger, als die eben definirte bürgerliche; sie dauert nämlich bis zu der Zeit, in welcher der letzte Schein der Helligkeit am westlichen Himmel verschwindet, und dies ist so ziemlich der Fall, wenn die Sonne bis zu 18° unter den Horizont hinabgesunken ist.

Fig. 257 stelle einen centralen Durchschnitt der Erde und ihrer Atmosphäre dar; *ac* und *df* seien Sonnenstrahlen, welche den festen Erdkern in zwei diametral einander gegenüberstehenden Punkten berühren, so ist klar, dass *bcrfe* derjenige Theil der Atmosphäre ist, welcher nicht von den Sonnenstrahlen getroffen wird. Denken wir uns

von den äussersten noch von der Sonne erleuchteten Punkten *c* und *f* der Atmosphäre die Tangenten *ch* und *fg* an die Erdkugel gezogen, so sind *g* und *h* diejenigen Punkte, bis zu welchen sich die astronomische Dämmerung erstreckt; denn für alle Punkte der Erdoberfläche zwischen *b* und *h* sowohl, wie zwischen *e* und *g* befindet sich noch ein Theil der von den Sonnenstrahlen erleuchteten Atmosphäre über dem Horizont. In unserer Figur ist nun die Atmosphäre im Verhältniss zum Durchmesser der Erde viel zu hoch angenommen worden, und deshalb ist nun auch der Dämmerungsbogen *bh* in der Zeichnung viel grösser ausgefallen, als er in der Wirklichkeit ist; denn in der That beträgt, wie wir oben gesehen haben, die Grösse dieses Bogens nur ungefähr 18°.

Die Grenze zwischen dem noch durch Sonnenstrahlen direct erleuchteten und dem im Schatten befindlichen Theile der Atmosphäre ist natürlich ebenso wenig genau bestimmbar, wie die obere Grenze der Atmosphäre überhaupt; doch lässt sich aus dem mittleren Werthe des Dämmerungsbogens wenigstens annähernd die Höhe der Atmosphäre bestimmen; aus einem Dämmerungsbogen von 18° ergiebt sich nämlich für die Atmosphäre eine Höhe von ungefähr neun geographischen Meilen; über diese Höhe hinaus ist wenigstens die Atmosphäre schon in einem solchen Grade verdünnt, dass sie keine merkliche Reflexion des Lichtes mehr bewirken kann.

Fig. 258.



Die Dauer der Dämmerung ist für verschiedene Gegenden der Erde sehr ungleich; unter dem Aequator ist sie am kürzesten, sie wird um so länger, je mehr man sich den Polen nähert.

Die Fig. 258 dient dazu, diese Verhältnisse anschaulicher zu machen; sie stellt nämlich die Erdkugel in ihren Beleuchtungsverhältnissen zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche dar.

Der Kreis *csar* ist der Erdäquator, welcher mit der Ebene des Papiers zusammenfällt; *p* ist der Nordpol der Erde; die Erdaxe ist zum Punkte verkürzt. Die in unserer Figur gezogenen concentrischen Kreise stellen die Parallelkreise von 23°, 45°, 63° und 80° nördlicher Breite dar. Der zur Linie verkürzte grösste Kreis *cpa* ist derjenige, welcher die direct erleuchtete von der beschatteten Erdhälfte trennt (wobei der Einfluss der atmosphärischen Refraction unberücksichtigt geblieben ist). Macht man den Bogen *cd* gleich 18°, zieht man *db* parallel mit *ca*, so ist der zur Linie verkürzte Kreis *db* derjenige, bis zu welchem sich die astronomische Dämmerung erstreckt; *cdba* ist der Dämmerungsgürtel.

Ein jeder Punkt der Erdoberfläche geht nun in Folge der Axendrehung der Erde in 24 Stunden zweimal durch diesen Dämmerungsgürtel hindurch, und es ist leicht einzusehen, dass die Dauer des Verweilens in demselben von der geographischen Breite des Ortes abhängig ist.

Für einen Punkt des Erdäquators dauert die astronomische Dämmerung so lange, als er braucht, den Bogen *ab* zu durchlaufen. Dieser Bogen beträgt aber 18°; folglich ist die entsprechende Zeitdauer 72^m oder 1 Stunde 12 Minuten.

Für einen Ort, welcher auf dem 45. Breitengrade liegt, dauert die astronomische Dämmerung so lange als er braucht, um den Bogen *fg* zu durchlaufen, also nahezu 2 Stunden, da der Winkel *fpg* gleich 30° ist.

Auf dieselbe Weise ergiebt sich, dass für den 63. Breitengrad die Dauer der astronomischen Dämmerung ungefähr 3 Stunden beträgt.

Ein Ort auf dem 80. Breitengrade gelangt gar nicht mehr bis an die Nachtgrenze des Dämmerungsgürtels; zur Zeit des Aequinoctiums beträgt also für ihn die Dauer der Dämmerung volle 12 Stunden.

Die Dauer der bürgerlichen Dämmerung beträgt ungefähr $^1/_3$ von der der astronomischen; die bürgerliche Dämmerung betrüge demnach zur Zeit des Aequinoctiums:

auf dem Aequator etwas über $^1/_3$ Stunde,
auf dem 45. Breitengrade ungefähr $^2/_3$ Stunde.
auf dem 63. Breitengrade ungefähr 1 Stunde,
auf dem 72. Breitengrade ungefähr 2 Stunden.

Der Unterschied in der Dämmerungsdauer für verschiedene Breiten ist aber in der That noch grösser, als er sich aus den eben durchgeführten Betrachtungen ergiebt, weil das Ende der Dämmerung nicht allein durch die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte, sondern auch durch den Zustand der Atmosphäre bedingt ist. Je durchsichtiger und reiner die Luft, desto kürzer ist die Dämmerung, während sie durch zarte, in der Höhe schwebende Nebel verlängert wird. So ist denn für einen und denselben Ort die Dauer der Dämmerung sehr veränderlich. Diejenigen Gegenden, welche sich eines tiefblauen Himmels erfreuen, werden eine verhältnissmässig kurze Dämmerung haben. In Chile dauert die Dämmerung nur $^1/_4$ Stunde, zu Cumana ist sie noch kürzer.

Wir haben oben die Dämmerungsverhältnisse für die Zeit der Aequinoctien betrachtet; im Sommer sowohl als im Winter wird, wie sich durch eine einfache geometrische Betrachtung nachweisen lässt, die Dämmerungsdauer für alle Breiten etwas grösser.

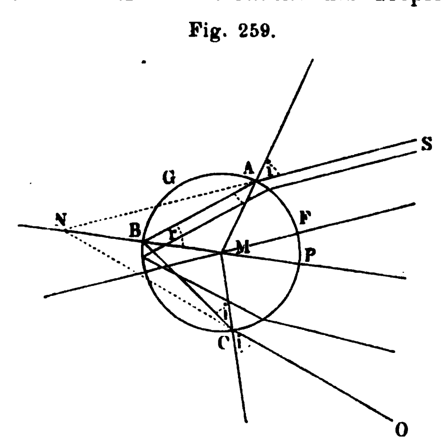
Der Regenbogen. Es ist allgemein bekannt, dass man einen 159
Regenbogen sieht, wenn man eine regnende Wolke vor sich und die Sonne im Rücken hat. Der Regenbogen bildet gleichsam die Basis eines Kegels, in dessen Spitze das Auge steht und dessen Axe mit der geraden Linie zusammenfällt, welche man durch die Sonne und das Auge legen

kann. Unter den eben angegebenen Bedingungen erscheint der Regenbogen auch in dem Staubregen der Wasserfälle und Springbrunnen.

Um den Regenbogen zu erklären, muss man den Weg der Sonnenstrahlen durch die Regentropfen verfolgen.

Wenn ein Sonnenstrahl SA, Fig. 259, einen Regentropfen trifft, so wird er gebrochen, und es ist leicht, die Richtung des gebrochenen Strahles AB zu berechnen oder zu construiren. Bezeichnet man den Einfallswinkel mit i, den Brechungswinkel mit r, so ist $\sin i = 1{,}33 \sin r$, weil 1,33 der Brechungsexponent für Wasser ist. In B wird der Strahl theils gebrochen, theils gespiegelt; der gespiegelte Strahl trifft in C von Neuem die Oberfläche des Tropfens und wird nach der Richtung CO gebrochen. Verlängert man die Linien SA und OC, so schneiden sie sich in N. Der Winkel ANC, den wir mit d bezeichnen wollen, ist der Winkel, welchen der austretende Sonnenstrahl mit dem einfallenden macht, und die Grösse dieses Winkels soll zunächst bestimmt werden. Ziehen wir in dem Punkte B, in welchem der Strahl gespiegelt wird, das Einfallsloth BN, so ist der Winkel $BNA = \frac{1}{2} d$. Der Winkel PMA ist, wie leicht einzusehen, $= 2r$ (als Aussenwinkel des Dreiecks MBA), und da $2r$ auch ein Aussenwinkel des Dreiecks MAN ist, so haben wir

Fig. 259.



$$\frac{1}{2} d = 2r - i;$$

denn der Winkel MAN ist gleich i. Daraus folgt aber

$$d = 4r - 2i \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Dieser Werth von d zeigt, dass der Winkel der eintretenden und austretenden Sonnenstrahlen mit der Grösse des Einfallswinkels sich ändert; denn von i hängt r und von beiden hängt d ab. Je nachdem also die unter sich parallel eintretenden Sonnenstrahlen in verschiedenen Punkten den Regentropfen treffen, erleiden sie auch nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung verschiedene Ablenkungen. Der auffallende Strahl, dessen Verlängerung durch den Mittelpunkt des Tropfens geht, erleidet gar keine Ablenkung, denn für diesen Strahl ist $i = 0$; wenn aber $i = 0$, so sind auch r und $d = 0$. Je mehr nun der Einfallswinkel nach A hinrückt, desto grösser wird i, und die stetige Veränderung von i hat auch eine stetige Veränderung von d zur Folge. Es ist leicht, zu jedem i das zugehörige r und dann das zugehörige d nach Gleichung 1) zu berechnen, wie es in folgender

Tabelle für einige Werthe von *i* geschehen ist. Es ist hierbei 1,33 als Brechungsexponent beim Uebergang der Lichtstrahlen aus Luft in Wasser angenommen.

i	*r*	*d*
10°	7° 30′	10°
20	14 54	19 36′
30	22 5	28 20
40	28 54	35 36
50	35 10	40 40
60	40 37	42 28
70	44 57	39 48
80	47 46	31 4
90	48 45	15

Nach dieser Tabelle ist die obere Curve der Fig. 1 auf Tab. 11 construirt, welche das Verhältniss anschaulich macht, in welchem der Einfallswinkel *i* zur Ablenkung *d* steht. Die verschiedenen Werthe von *i* sind als Abscissen, die zugehörigen Werthe von *d* als Ordinaten aufgetragen. Man ersieht aus dieser Figur sehr deutlich, wie mit zunehmendem Werthe von *i* auch die Ablenkung wächst, bis sie ein Maximum erreicht, wenn *i* gegen 59 bis 60° ist. Wächst *i* noch mehr, so nimmt die Ablenkung wieder ab.

Aus dem eben Gesagten folgt nun unmittelbar, dass die parallel auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, die wir bisher betrachtet haben, nach ihrem Austritte aus dem Tropfen divergiren. Es ist begreiflich, dass durch diese Divergenz der aus dem Tropfen kommenden Strahlen die Stärke des Lichteindruckes, den sie hervorbringen, ganz ausserordentlich geschwächt wird, namentlich, wenn die Tropfen in einer nur etwas bedeutenden Entfernung vom Auge sich befinden. Unter allen aus dem Tropfen nach zweimaliger Brechung und einmaliger Spiegelung ins Auge kommenden Strahlen können demnach nur diejenigen einen merklichen Lichteindruck machen, für welche diese Divergenz ein Minimum ist, oder, mit anderen Worten, nur diejenigen, welche sehr nahe parallel austreten.

Suchen wir nun in der Curve *ABC* (Fig. 1, Tab. 11) diejenige Stelle, wo bei gleichmässiger Veränderung der Abscissen *i* die Ablenkung sich verhältnissmässig am wenigsten ändert, so finden wir, dass dies der Fall ist, wenn die Ablenkung ein Maximum ist; denn an dieser Stelle ist die Curve fast horizontal. Für alle Einfallswinkel *i*, welche selbst einige Minuten grösser oder kleiner sind als 59° 30′, ist die Ablenkung fast ganz dieselbe, sie beträgt sehr nahe 42° 30′; eine ziemliche Menge parallel einfallender Sonnenstrahlen verlässt also den Tropfen fast in derselben Richtung, nachdem sie eine Ablenkung von sehr nahe 42° 30′ erlitten haben; und diese Strahlen werden unter allen aus den Tropfen kommenden allein einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können.

Dasselbe Resultat, welches wir eben auf graphischem Wege abgeleitet haben, lässt sich aber auch in folgender Weise durch Rechnung erhalten.

Wenn der Einfallswinkel i um eine ganz kleine Grösse i' wächst oder abnimmt, so wird r um r' wachsen oder abnehmen und d die Aenderung d' erleiden. Die Gleichung 1) wird alsdann:

$$d + d' = 4r + 4r' - 2i - 2i' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

Es handelt sich nun darum, denjenigen Werth von i zu finden, für welchen die Aenderung um die kleine Grösse i' keine Aenderung von d zur Folge hat, für welchen also $d' = 0$ wird. Aus der Combination der Gleichungen 1) und 2) folgt:

$$d' = 4r' - 2i',$$

also für den Fall, dass $d' = 0$ wird

$$i' = 2r' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3)$$

i und r sind aber durch die Gleichung

$$\sin i = n . \sin r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4)$$

verbunden, wenn n den Brechungsexponenten aus Luft in Wasser bezeichnet, wir haben also auch:

$$\sin(i + i') = n \sin(r + r')$$

oder

$$\sin i \cos i' + \cos i \sin i' = n . \sin r . \cos r' + n \cos r . \sin r';$$

da aber i' und r' sehr klein sind, so kann man

$$\cos i' = \cos r' = 1, \ \sin i' = i' \text{ und } \sin r' = r'$$

setzen und demnach wird die vorige Gleichung

$$\sin i + i' \cos i = n . \sin r + n r' \cos r$$

und wenn man von dieser Gleichung die Gleichung 4) abzieht

$$i' \cos i = n r' \cos r.$$

Daraus wird, wenn man für i' seinen Werth aus Gleichung 3) setzt:

$$2 r' \cos i = n r' \cos r$$

$$2 \cos i = n \cos r.$$

Wird diese Gleichung aufs Quadrat erhoben, so kommt:

$$4 . \cos i^2 = n^2 \cos r^2$$

$$4(1 - \sin i^2) = n^2 (1 - \sin r^2)$$

und wenn man für $\sin i$ seinen Werth aus Gleichung 4) setzt:

$$4(1 - n^2 \sin r^2) = n^2 (1 - \sin r^2)$$

oder nach einigen Umformungen:

$$\sin r = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}$$

und

$$\sin i = \sqrt{\frac{4 - n^2}{3}}.$$

Setzen wir für n seinen Zahlenwerth 1,33, so kommt

$$\sin i = 0{,}86238 \text{ also } i = 59^0\ 35',$$

wonach ferner

$$\sin r = \frac{0{,}86238}{1{,}33} = 0{,}6483 \text{ also } r = 40^0\ 25'$$

und endlich

$$d = 42^0\ 30'.$$

Man denke sich durch die Sonne und das Auge des Beobachters eine gerade Linie OP, Fig. 260, gezogen und durch dieselbe eine Verticalebene gelegt. Man ziehe ferner durch O eine Linie OV, so dass der Winkel $POV = 42^0\ 30'$, so werden nach dieser Richtung hin sich befindende Regentropfen nach einmaliger innerer Spiegelung wirksame

Fig 260.



Strahlen ins Auge senden. Jedoch nicht allein in dieser Richtung empfängt das Auge wirksame Strahlen, sondern, wie leicht begreiflich, von allen Regentropfen, die in der Kegeloberfläche liegen, welche durch Umdrehung der Linie OV um die Axe OP entsteht; das Auge wird also einen lichten Kreis sehen, dessen Mittelpunkt auf der von der Sonne durch das Auge gezogenen Geraden liegt und dessen Halbmesser unter einem Winkel von $42^0\ 30'$ erscheint.

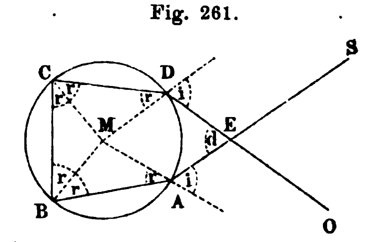
Bei der obigen Betrachtung wurde 1,33 als Brechungsexponent in Rechnung gebracht. Es ist dies aber der Brechungsexponent der rothen Strahlen, das Auge sieht also in der erwähnten Richtung einen rothen Kreis, der als ein rother Ring von 30′ Breite erscheint, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe ist, die den scheinbaren Durchmesser von 30′ hat. Für violette Strahlen ist der Brechungsexponent 1,34, und daraus ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von i und d:

i	d	i	d
0	0	50⁰	39⁰
10⁰	9⁰ 40′	60	40 28′
20	18 57	70	37 28
30	27 22	80	28 28
40	34 20	90	12 18

Nach diesen Zahlen ist die unterste Curve (Fig. 1, Tab. 11) construirt. Das Maximum der Ablenkung, welche die violetten Strahlen nach einmaliger innerer Spiegelung im Tropfen erleiden, ist demnach nahe 40° 30′; dies ist also die Richtung, in welcher die wirksamen violetten Strahlen austreten. Es wird also concentrisch mit dem rothen ein violetter Kreisbogen von geringerem Halbmesser sichtbar sein, welcher gleichfalls eine Breite von 30′ hat. Zwischen diesen äussersten Bogen erscheinen die der übrigen prismatischen Farben, und so bildet also gewissermaassen der Regenbogen ein zu einem kreisförmigen Bande ausgedehntes Spectrum. Die ganze Breite des Regenbogens beträgt ungefähr 2°, da ja der Halbmesser des rothen Bogens um 2° grösser ist als der des violetten.

Was den Umfang des farbigen Bogens betrifft, so hängt er offenbar von der Höhe der Sonne über dem Horizonte ab. Wenn die Sonne eben untergeht, so erscheint der Regenbogen im Osten, der Mittelpunkt des Bogens liegt dann gerade im Horizonte, weil die durch die Sonne und das Auge gezogene Linie eine horizontale ist; wenn der Beobachter in der Ebene steht, so bildet der Regenbogen gerade einen Halbkreis; er kann aber mehr als einen Halbkreis übersehen, wenn er auf einer isolirten Bergspitze von geringer Breite oder auf einem hohen Thurme steht. Bei Sonnenaufgang erscheint der Regenbogen im Westen. Je höher die Sonne steigt, desto tiefer liegt der Mittelpunkt des farbigen Bogens unter dem Horizont, desto kleiner ist also das dem Auge sichtbare Bogenstück. Wenn die Sonne 42° 30′ hoch steht, ist für einen in der Ebene stehenden Beobachter gar kein Regenbogen mehr sichtbar, weil alsdann der höchste Theil desselben gerade in den Horizont, der ganze Bogen also unter den Horizont fallen würde. Von den Masten der Schiffe sieht man oft Regenbogen, welche einen ganzen Kreis bilden; solche ganze kreisförmige Regenbogen sieht man auch oft an Wasserfällen und Springbrunnen.

Fig. 261.



Ausser dem eben besprochenen Hauptregenbogen sieht man gewöhnlich noch einen zweiten grösseren, mit dem ersteren concentrischen, den Nebenregenbogen, bei welchem die Ordnung der Farben die umgekehrte ist; beim äusseren Regenbogen ist nämlich das Roth innen, das Violett aussen. Der Nebenregenbogen ist weit weniger lichtstark als der innere, er erscheint weit blasser. Man hatte früher die irrige Ansicht, der Nebenregenbogen sei gleichsam ein Spiegelbild des Hauptregenbogens. Die Entstehung des äusseren Regenbogens beruht auf denselben Principien wie die des inneren, er entsteht durch Sonnenstrahlen, welche in den Regentropfen eine zweimalige Brechung und eine zweimalige innere Reflexion erlitten haben.

In Fig. 261 ist der Gang eines Lichtstrahles dargestellt, welchen derselbe im Regentropfen nimmt, um ihn nach zweimaliger innerer Spiegelung zu verlassen. SA ist der einfallende Sonnenstrahl, welcher nach AB gebrochen, dann in B und C gespiegelt wird und bei D in der Richtung DO wieder austritt. In diesem Falle schneiden sich der einfallende und der austretende Strahl und bilden einen Winkel d mit einander, dessen Grösse veränderlich ist, je nachdem der einfallende Strahl den Tropfen an einer anderen Stelle, also unter einem anderen Einfallswinkel, trifft. Suchen wir nun den Werth des Ablenkungswinkels d zu ermitteln.

Die Summe aller Eckwinkel des Fünfecks $ABCDE$ beträgt, wie dies bei jedem Fünfeck der Fall ist, sechs Rechte oder 540°. Um den Winkel d zu finden, haben wir also nur von 540° die Eckwinkel bei A, B, C und D abzuziehen: jeder der Eckwinkel bei B und C beträgt $2r$, zusammen machen sie also $4r$ aus; der Winkel bei D sowohl als der bei A ist aber gleich $r +$ dem Winkel MDE; für den Winkel MDE können wir aber seinen Werth $180 - i$ setzen, folglich ist der Winkel CDE gleich $r + 180 - i$, die beiden Eckwinkel bei A und D sind also zusammen:

$$2r + 360^0 - 2i;$$

wir haben also:

$$d = 540^0 - 4r - (2r + 360^0 - 2i)$$

oder

$$d = 180^0 + 2i - 6r.$$

Nach dieser Formel ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe des Einfallswinkels i und des Ablenkungswinkels d für violettes und rothes Licht:

Einfallswinkel	Ablenkungswinkel	
	für Roth	für Violett
0	180°	180°
40	86 36′	88 0′
60	56 18	58 24
70	50 18	53 24
80	53 24	56 12
90	68 30	70 18

Wenn ein rechtwinklig auf den Tropfen fallender Strahl, an der Rückwand des Regentropfens reflectirt, die Vorderfläche wieder trifft, so tritt er zum Theil in der Richtung wieder aus, in der er gekommen war, der Winkel des eintretenden und des austretenden Strahles ist für diesen Fall gleich Null; zum Theil erleidet er aber an der Vorderwand eine zweite Reflexion und tritt dann in einer Richtung aus, welche die Verlängerung des einfallenden Strahles bildet; die Ablenkung ist alsdann 180°. Trifft der einfallende Strahl nicht rechtwinklig auf den Tropfen, so nimmt die Totalablenkung nach zweimaliger innerer Spiegelung ab, wenn der

Einfallswinkel wächst. Für einen Einfallswinkel von ungefähr 71° ist die Ablenkung ein Minimum, und zwar beträgt sie für die rothen Strahlen ungefähr 50°, für violette nahe 53½°. Für noch grössere Einfallswinkel nimmt die Ablenkung wieder zu.

Nach den Zahlen der letzten Tabelle sind die beiden Curven der Fig. 2 auf Tab. 11 construirt, und zwar gilt die untere für die rothen, die obere für die violetten Strahlen. Man sieht aus dem Anblick der Figur, dass in der Nähe des Minimums der Ablenkung eine kleine Veränderung des Einfallswinkels keine bedeutende Veränderung in der Ablenkung hervorbringt, dass also in der Richtung der kleinsten Ablenkung ein Bündel ziemlich paralleler Strahlen austritt, und diese Strahlen sind die einzigen unter allen, welche, den Tropfen nach zweimaliger innerer Spiegelung verlassend, einen merklichen Lichteindruck hervorbringen können. Aus der für den ersten Regenbogen entwickelten Schlussweise ergiebt sich, dass man unter den geeigneten Umständen einen rothen Bogen sehen wird, dessen Halbmesser unter einem Winkel von 50°, und einen violetten, dessen Radius unter einem Winkel von 53½° erscheint. Die Breite des zweiten Regenbogens beträgt also ungefähr 3½°.

Der Zwischenraum der beiden Regenbogen beträgt ungefähr 7½°.

Der äussere Regenbogen ist blasser, weil er durch Strahlen gebildet wird, welche eine zweimalige innere Spiegelung erlitten haben, indem das Licht bei jeder Spiegelung eine Schwächung erleidet. Man würde noch einen dritten und einen vierten Regenbogen sehen können, welche durch Strahlen gebildet werden, die eine dreimalige und eine viermalige innere Spiegelung erlitten haben, wenn diese Strahlen nicht zu lichtschwach wären.

160 **Secundäre Regenbogen.** Im vorigen Paragraphen wurde nur die Haupterscheinung des Regenbogens betrachtet, welche er jedesmal ohne wesentliche Veränderung zeigt; es kommt indessen noch eine interessante Nebenerscheinung vor, die nur unter besonderen Umständen und nicht immer in ganz gleicher Weise eintritt, nämlich die sogenannten secundären oder überzähligen Regenbogen.

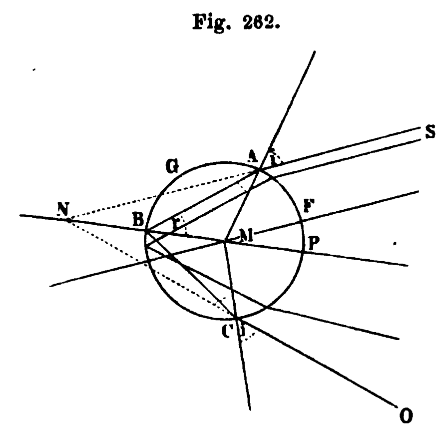
Die überzähligen Regenbogen bestehen darin, dass der Hauptregenbogen nach innen, und manchmal auch der Nebenregenbogen nach aussen nicht mit dem Violett abschliesst, sondern dass sich jenseits des Violett noch mehrere, meist abwechselnd grüne und rothe Bogen anschliessen. Die secundären Bogen erscheinen in der Regel nur am obersten Theile der primären, indem sie nach beiden Seiten hin allmählich matter werden und lange bevor sie den unteren Rand erreichen, ganz verschwinden.

Venturi suchte die überzähligen Regenbogen durch die Annahme zu erklären, dass die herabfallenden Regentropfen zum Theil wenigstens

eine abgeplattete Gestalt haben (Gilb. Ann. LII, 1816), d. h. dass sie die Gestalt eines Umdrehungsellipsoides haben, dessen verticale Umdrehungsaxe kleiner ist, als sein Aequatorialdurchmesser. In der That würden solche Tropfen, welche in oder nahe der Verticalebene der Sonne liegen, einen niedrigeren Hauptregenbogen liefern als die kugelförmigen. Ausser anderen Einwendungen, die sich gegen die Hypothese machen lassen, lässt sich gegen dieselbe besonders geltend machen, dass man ausser den kugelförmigen Tropfen, welche den normalen Regenbogen liefern, für jeden secundären Bogen die Existenz von Tropfen eines bestimmten Abplattungsgrades annehmen muss, ohne dass Zwischenformen vorkommen.

Nach Young sind die überzähligen Regenbogen als ein Interferenzphänomen zu betrachten. Aus dem vorigen Paragraphen wissen wir, dass unter allen auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen nur diejenigen als wirksame Strahlen austreten, für welche nach einmaliger innerer Reflexion der Ablenkungswinkel d ein Maximum ist. In Fig. 262 sei nun SA dasjenige Bündel einfallender Sonnenstrahlen, welches in der Richtung CO als ein wirksames Strahlenbüdel austritt, so werden alle zwischen A und F auf den Tropfen fallenden Sonnenstrahlen, sowie alle diejenigen, welche ihn zwischen A und G treffen, nach einmaliger innerer Reflexion in einer Richtung austreten, welche mit der Richtung der einfallenden Sonnenstrahlen einen kleineren Winkel macht als CO. Einem jeden zwischen F und A einfallenden Strahl wird aber ein anderer zwischen A und G den Tropfen treffender entsprechen, welcher mit dem ersteren nach einmaliger innerer Reflexion den Tropfen in gleicher Richtung verlässt. Diese beiden Strahlen müssen aber nothwendig interferiren, da sie innerhalb des Tropfens verschiedene Wege zurückgelegt haben. Wenn man sich den Ablenkungswinkel d von seinem Maximumswerthe aus allmählich abnehmend denkt, so wird dabei für die beiden nach gleicher Richtung austretenden und interferirenden Strahlen der Gangunterschied immer grösser, sie werden sich daher abwechselnd verstärken und schwächen müssen. Das auf solche Weise durch Interferenz erzeugte erste, zweite, dritte Maximum der Lichtstärke für eine bestimmte Strahlenart wird aber offenbar dem gleichfarbigen Ringe des primären Regenbogens um so näher liegen, je grösser die Regentropfen sind. Bei einer bestimmten Kleinheit der Tropfen wird das erste Interferenzmaximum für rothe Strahlen mit dem violetten Ringe des Hauptregenbogens zusammenfallen und so an dieser

Fig. 262.



Stelle ein purpurfarbener Ring entstehen, dem sich dann die weiteren Ringe des secundären Regenbogens anschliessen.

Airy hat diese Young'sche Erklärung der secundären Regenbogen weiter entwickelt und vollendet; wir können aber hier nicht näher darauf eingehen und verweisen zunächst auf die gelungene Darstellung dieses Gegenstandes, welche Clausius im 4. Hefte von Grunert's Beiträgen zur meteorologischen Optik, Leipzig 1850, gegeben hat, und dann auf Airy's Originalabhandlung, von welcher sich eine Uebersetzung im ersten Ergänzungsbande von Poggendorff's Annalen (1842) befindet.

161 **Höfe.** Oft sieht man, wenn der Himmel mit einem leichten Wolkenschleier überzogen ist, dicht um die Sonne oder den Mond farbige Ringe, welche man als Höfe oder Aureolen bezeichnet. Sehr häufig erscheinen diese Höfe nicht vollständig, sondern stückweise. Wenn man die Mondhöfe häufiger beobachtet als die Sonnenhöfe, so liegt der Grund darin, dass das Licht der Sonne zu blendend ist; man sieht aber diese auch, sobald man das Bild der Sonne in ruhigem Wasser oder in einem auf der Rückseite geschwärzten Spiegel betrachtet.

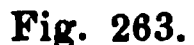
Diese Höfe haben die grösste Aehnlichkeit mit der Aureole, welche man um eine Kerzenflamme sieht, wenn man sie durch eine mit Semen lycopodii bestreute Glasplatte betrachtet, und sicherlich sind die Höfe ebenso wie dieses Phänomen zu den Interferenzerscheinungen zu zählen; die Dunstbläschen vertreten die Stelle der feinen Staubtheilchen.

Mit dem gleichen Namen der Höfe bezeichnet man aber auch häufig eine andere Art von Lichtringen, welche meist nur schwach gefärbt, die Sonne oder den Mond in grösseren Winkelabständen umgeben. Fraunhofer nennt die ersteren Höfe kleinerer Art, die letzteren aber Höfe grösserer Art. Es dürfte wohl am zweckmässigsten sein, den Namen der Höfe nur für die den Mond oder die Sonne unmittelbar glorienartig umgebenden Farbenringe, welche Kämtz auch Lichtkränze nennt, zu gebrauchen, die Höfe grösserer Art aber, welche in grösserer Entfernung von Sonne oder Mond erscheinen und welche im nächsten Paragraphen näher besprochen werden sollen, einfach als Sonnen- und Mondringe zu bezeichnen.

Ein schönes Beispiel eines Hofes zeigt Fig. 263, welche die Copie der einen Hälfte eines englischen Momentan-Stereoskopbildes ist. Ein schöner Hof umgiebt nicht nur die Sonne selbst, sondern auch ihr in die Länge gezogenes Spiegelbild im Wasser ist von einem, freilich weniger vollkommenen Hofe umgeben, welcher sich zum Theil wie ein Nebel vor dem Nachen ausbreitet.

Die Farben der eigentlichen Höfe folgen ganz den Gesetzen der Farben dünner Blättchen im durchgelassenen Lichte. Bezeichnen wir also mit ϱ den Radius des innersten dunklen Ringes für irgend eine einfache Farbe, so ist der Radius des zweiten, dritten u. s. w.

dunklen Ringes derselben Farbe 3ϱ, 5ϱ u. s. w., während die Halbmesser der **hellen** Ringe der gleichen Farbe 2ϱ, 4ϱ, 6ϱ u. s. w. sind. Die Erklärung dieser Erscheinung ist auf die Beugungsfigur zurückzuführen, welche entsteht, wenn die von einer geraden Lichtlinie ausgehenden Strahlen von einem ihr parallelen dünnen undurchsichtigen Stäbchen oder die von einem Lichtpunkte ausgehenden Strahlen von einem un-


Fig. 263.

durchsichtigen Scheibchen oder einem undurchsichtigen Kügelchen aufgefangen werden.

Die durch ein dünnes Stäbchen, etwa durch einen Draht, hervorgebrachte Beugungsfigur entsteht durch die Interferenz der Randstrahlen. Es sei z. B. ab, Fig. 264 (a. f. S.), der zur Richtung der einfallenden Strahlen rechtwinklige Durchmesser des Stäbchens, so werden die zunächst bei a liegenden Aethertheilchen elementare Strahlen nach allen Richtungen aussenden, ebenso wie die zunächst am Rande b liegenden. Denkt man sich nun in einiger Entfernung hinter ab einen weissen Schirm aufgestellt, so werden die von den beiden Rändern a und b aus gegen irgend einen

Punkt *m*, *n*, *q* u. s. w. desselben convergirenden Strahlen, je nach Umständen einander verstärken oder gegenseitig aufheben. In dem Punkte *m*, welcher gleich weit von *a* und *b* entfernt ist, werden sich die beiden von *a* und *b* aus zusammentreffenden Randstrahlen aufs Vollständigste unterstützen, in *m*, in der Mitte hinter *ab*, in der Mitte des Beugungsbildes, wird sich also ein heller Streifen befinden, und zwar fallen hier die Maxima der Lichtstärke für alle farbigen Strahlen zusammen, bei Anwendung von weissem Licht wird also in *m* ein centraler weisser Streifen entstehen, während die seitlichen Streifen sämmtlich mehr oder weniger gefärbt sind.

Für Strahlen einer bestimmten Farbe, etwa für Roth, wird ein zweites Maximum in *n* auftreten, wenn das von *a* auf den Randstrahl *bn* gefällte Perpendikel *ac*, Fig. 265, ein Stück *bc* abschneidet, dessen Länge gleich der Wellenlänge λ für rothes Licht ist.

Fig. 264.

Wenn die Punkte *q* und *p*, Fig. 264, zweimal, dreimal so weit von *m* entfernt sind als *n*, so werden die von *a* und *b* nach *q* und *p* convergirenden Randstrahlen in ihrem Gange um 2, 3 ... Wellenlängen verschieden sein (weil das von *a* auf *bq* und das von *a* auf *bp* gefällte Perpendikel die Länge $bc' = 2\lambda$, und $bc'' = 3\lambda$, Fig. 265, abschneidet), in *q* und *p* werden also abermals helle Streifen für Roth entstehen, während sich in den zwischenliegenden Punkten *z*, *y* und *x* dunkle Streifen bilden, weil der Gangunterschied der hier zusammentreffenden Strahlen $1/2$, $3/2$, $5/2$ Wellenlängen für rothes Licht beträgt.

Der Punkt *m*, Fig. 264, liegt in der Mitte der ganzen Beugungsfigur; in den Punkten *n'*, *q'* und *p'*, welche ebenso weit nach rechts von *m* liegen, wie *n*, *p* und *q* nach links, werden also ebenfalls helle, in den in der Mitte zwischen ihnen liegenden Punkten werden dunkle Streifen entstehen.

Tritt an die Stelle der geradlinigen Lichtquelle ein Lichtpunkt und an die Stelle des beugenden Stäbchens ein kreisrundes Scheibchen oder ein Kügelchen, so wird das Beugungsmittel aus einem hellen centralen Fleck bestehen, welcher von abwechselnd hellen und dunklen concentrischen Ringen umgeben ist. Bezeichnen wir den Radius des innersten hellen Ringes (dem Abstande *mn*, Fig. 264, entsprechend) einer bestimmten Farbe, etwa des Roth, mit *r*, so sind die Radien der folgenden hellen Ringe derselben Farbe $2r$, $3r$ u. s. w., die Radien der dunklen Ringe dagegen sind $\frac{r}{2}$, $\frac{3r}{2}$, $\frac{5r}{2}$ u. s. w.

Bezeichnen wir mit d den Durchmesser ab des beugenden Scheibchens, so haben wir (vergl. Fig. 265):

$$\left.\begin{array}{l} bc = \lambda = d.\sin\alpha \\ bc' = 2\lambda = d.\sin\beta \\ bc'' = 3\lambda = d.\sin\gamma \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

wenn wir mit α, β und γ die Winkel bezeichnen, welche die nach n, q und p convergirenden Randstrahlen mit der Richtung Sm der einfallenden Strahlen machen. Aus den Gleichungen bei 1) folgt

$$\left.\begin{array}{l} \sin\alpha = \frac{\lambda}{d} \\ \sin\beta = \frac{2\lambda}{d} \\ \sin\gamma = \frac{3\lambda}{d} \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

die Winkelwerthe, unter welchen die Radien der hellen Ringe im Beugungsbilde eines undurchsichtigen Scheibchens oder Kügelchens von der Mitte des Scheibchens aus gesehen erscheinen, sind also dem Durchmesser des Scheibchens umgekehrt proportional.

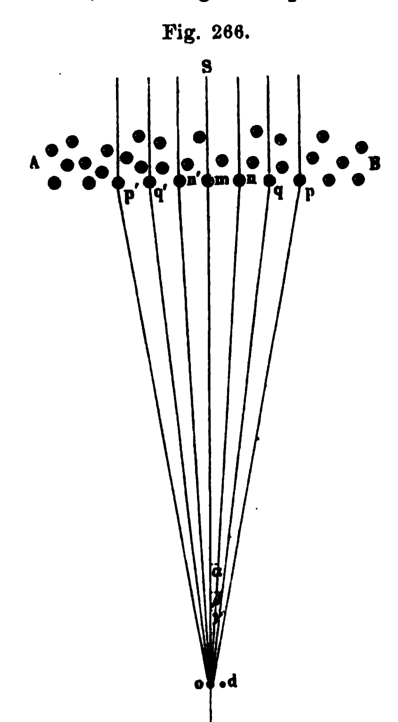
Fig. 265.

Auf diese Beugungserscheinung hat nun Fraunhofer in einer bereits von Jordan angedeuteten Weise (Gilb. Ann. XVIII) die Erscheinung der Höfe zurückgeführt (Schumacher's Astronomische Abhandlungen, 3. Heft), nachdem er sich überzeugt hatte, dass ein Glasfaden ganz ebenso wirkt, wie ein gleich dickes Metalldrähtchen, und ein Glaskügelchen wie ein gleich dickes undurchsichtiges Kügelchen. In dem Raume AB, Fig. 266 (a. f. S.), seien Dunstkügelchen von gleicher Grösse so enthalten, dass auf den grössten Theil derselben das Licht der Sonne unmittelbar gelangen kann. Dieses parallel auffallende Licht wird an jedem Kügelchen in der angegebenen Weise gebeugt und unter verschiedenen Winkeln ausfahren. Nehmen wir an, das Auge in o empfange vom Kügelchen n das Roth der ersten Ordnung, so wird das Gleiche auch für das Kügelchen n' der Fall sein, welches auf der linken Seite ebenso weit von der vom Auge nach der Sonne gezogenen Linie oS entfernt ist, wie n auf der rechten Seite. Dasselbe wird ferner der Fall sein für alle Dunstkügelchen, welche auf dem Umfange eines rechtwinklig auf oS stehenden Kreises liegen, dessen Mittelpunkt m und dessen Radius mn ist. Dem Auge erscheint der Umfang dieses Kreises durch rothes Licht und zwar durch das Roth der ersten Ordnung erleuchtet, welches einen 30 Minuten breiten Ring bildet, weil die Sonne nicht ein leuchtender Punkt ist, sondern einen scheinbaren Durchmesser von 30′ hat.

Der (mittlere) Radius dieses Ringes erscheint dem Auge unter einem Winkel α, welcher dem bereits oben mit α bezeichneten Winkel gleich ist.

Von einem Dunstkügelchen q, welches doppelt so weit von m entfernt ist als n, wird dem Auge o das Roth der zweiten Ordnung zukommen, vom Kügelchen p das Roth der dritten Ordnung u. s. w. Das Auge erblickt also einen zweiten die Sonne umgebenden rothen Ring vom Halbmesser mq, der unter dem Winkel β, und einen dritten vom Halbmesser mp, welcher unter dem Winkel γ erscheint.

Fig. 266.



Für Strahlen anderer Farben ist der Weg dem vorigen ähnlich, wegen der kürzeren Wellenlänge wird aber der erste, zweite, dritte Ring für grünes Licht kleiner sein, als der entsprechende Ring für rothes, und die blauen Ringe haben einen kleineren Halbmesser als die grünen.

Da die Durchmesser der Farbenringe sich umgekehrt verhalten, wie die Durchmesser der Kügelchen, so muss der grösste Theil der Kügelchen in der Atmosphäre nahezu gleiche Grösse haben, wenn die Höfe mit ihren Farben deutlich wahrnehmbar sein sollen. Für ungleich grosse Kügelchen werden die hellen Ringe verschiedener Farben so über einander fallen, dass aus ihrer Mischung ein weissliches Licht entsteht. Man sieht alsdann einen Hof ohne Farben.

Die genauere Beobachtung von Höfen hat gezeigt, dass die Durchmesser der Farbenringe an verschiedenen Tagen sehr verschieden sind. So fand z. B. Jordan am 25. October 1797 mittelst eines Sextanten den mittleren Halbmesser des innersten rothen Ringes, also $\alpha = 2^0\,33'$, und den des zweiten rothen Ringes $\beta = 4^0\,41'$, während sich für einen am 3. October 1792 beobachteten Hof $\alpha = 45'$ und $\beta = 1^0\,25'$ ergeben hatte. Die Ringe werden um so enger, je grösser die Dunstbläschen sind, welchen sie ihren Ursprung verdanken, wie ja auch der Hof, welchen man erblickt, wenn man durch eine mit Semen lycopodii bestreute Glasplatte nach einer Kerze schaut, grösser ist, als wenn dieselbe mit Pollenstaub von Pinus austriaca, und kleiner, als wenn sie mit Pollenstaub von Taxus baccata bestreut wäre.

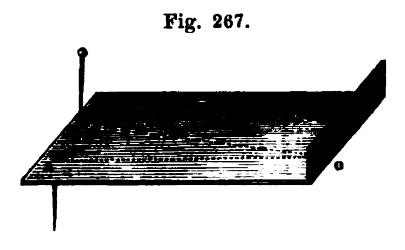
Nach Gleichung 2) lässt sich leicht der Durchmesser der Nebelbläschen berechnen, wenn man den Winkel gemessen hat, unter welchem der Halbmesser eines Ringes für eine bestimmte Farbe erscheint und man die Wellenlänge λ dieser Strahlenart kennt, denn man hat

$$\left.\begin{aligned} d &= \frac{\lambda}{\sin\alpha} \\ \text{und} \quad d &= \frac{2\lambda}{\sin\beta} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 3)$$

Für die mittleren rothen Strahlen ist $\lambda = 0{,}00066$ mm, wir erhalten also für den von Jordan im Jahre 1797 gemessenen Hof:

$$d = \frac{0{,}00066}{0{,}0445} = 0{,}0148 \text{ mm} \quad \text{und} \quad d = \frac{2.0{,}00066}{0{,}0816} = 0{,}0161 \text{ mm},$$

Fig. 267.



zwei Werthe, welche so nahe mit einander übereinstimmen, wie man es nur bei der geringen Genauigkeit erwarten darf, mit welcher die Durchmesser der Farbenringe gemessen werden können.

Für den kleineren im Jahre 1792 von Jordan beobachteten Hof ergiebt sich

$$d = \frac{0{,}00066}{0{,}013} = 0{,}0508 \text{ mm} \quad \text{und} \quad d = \frac{0{,}00132}{0{,}0247} = 0{,}0534 \text{ mm}.$$

Je länger gutes Wetter angehalten hat, desto kleiner werden die Nebelbläschen; vor Regenwetter vergrössern sie sich schnell. Kämtz fand die Nebelbläschen in den Wintermonaten im Durchschnitt grösser als in den Sommermonaten.

Zur Messung der Höfe, d. h. des Durchmessers der Ringe, eignet sich nach Kämtz ein einfaches Diopterinstrument besser, als ein Spiegelsextant. Hagenbach wandte für solche Messungen ein aus Kartenpapier und Stecknadeln improvisirtes Instrument an, welches im Vergleich zur Unsicherheit beim Einstellen auf eine bestimmte Farbe eine hinlängliche Genauigkeit giebt.

Die auch in manchen anderen Fällen anwendbare Vorrichtung Hagenbach's ist in Fig. 267 dargestellt. Ein rectangulär geschnittenes Stück steifen Papiers (Carton) von 8 bis 10 cm Länge wird auf der einen Seite rechtwinklig aufgebogen und bei o mit einem kleinen Loch versehen, dem gegenüber eine Stecknadel bei a eingesteckt wird. Visirt man nun von o über den Stecknadelknopf a nach irgend einem Object A, so kann man eine zweite Stecknadel bei b so einstecken, dass sie in die von o nach einem zweiten Object B gerichtete Visirlinie fällt. Zieht man alsdann auf dem Papier die Linien oa und ob, so kann man mit dem Transporteur den Winkel messen, welchen dieselben mit ein-

ander machen und welcher dem Winkel der Visirlinien oA und oB gleich ist.

Für die Erklärung der oben besprochenen Höfe ist es völlig gleichgültig, ob die Wasserkügelchen, welche den Nebel bilden, ganz massiv, d. h. ganz mit Wasser gefüllt, oder ob sie kleine, lufthaltige, mit einer äusserst dünnen Wasserhülle umgebene Bläschen sind.

Die oben beschriebenen Höfe erscheinen, wie schon bemerkt, wenn sich ein leichter Nebel zwischen dem Beobachter und der Sonne oder dem Monde befindet. Selten kann man mehr als zwei Ringe unterscheiden, ja meistens sieht man nur einen, nämlich den innersten. Manchmal aber sieht man auch Höfe unter scheinbar ganz entgegengesetzten Umständen, wenn nämlich der Beobachter die Sonne im Rücken und eine Nebelwand vor sich hat. Der Beobachter sieht zunächst seinen riesenhaft erscheinenden Schatten auf der Nebelwand, und zwar nicht allein den des Kopfes, sondern auch den Schatten der Brust und der Arme; der Schatten des Kopfes ist aber häufig von einer Aureole umgeben, welche aus drei bis vier farbigen Ringen besteht, deren Farben ganz in derselben Ordnung auf einander folgen, wie die der eben betrachteten Höfe, welche aber weit brillanter sind, offenbar weil hier nicht ein blendend heller Körper den Mittelpunkt des Ringsystems einnimmt, sondern der Schatten des Kopfes.

Jeder Beobachter sieht nur seinen eigenen, mit einer Glorie umgebenen Schatten, aber nicht den seines Begleiters.

Solche Nebelbilder lassen sich nur wahrnehmen, wenn der Beobachter einen ganz freien isolirten Standpunkt einnimmt, wie dies auf dem Lande nur in Gebirgsgegenden möglich ist; am schönsten zeigen sie sich bei Sonnenaufgang, wenn der Schatten des auf einer isolirten Bergspitze oder auf einem isolirten Bergkamme stehenden Beobachters auf eine westlich von ihm befindliche Nebelwand fällt. In den Alpen sind unter anderen Pilatus, Rigi und Mythen sehr geeignete Localitäten zur Beobachtung dieser prächtigen Erscheinung, welche im Harz unter dem Namen des Brockengespenstes bekannt ist.

Das Brockengespenst ist vielfach der Gegenstand unrichtiger Beschreibungen und falscher bildlicher Darstellungen geworden. Sehr oft nämlich begegnet man Bildern, welche einen Mann darstellen, der in theatralischer Stellung auf einem Felsengipfel steht, während man im Hintergrunde den Schatten desselben in fast dreifacher Grösse sieht. In dieser Weise kann die Erscheinung nicht auftreten, denn erstens kann ein dritter nicht gleichzeitig den entfernten Mann und seinen Schatten sehen, dann aber ist der Schatten in Wirklichkeit, wie wir gleich sehen werden, nicht grösser als der schattengebende Körper selbst.

Ausgezeichnet schön beobachtete Scoresby das Phänomen in den Polargegenden von dem Mastkorbe der Schiffe aus. Flammarion sah in einem Luftballon in einer Höhe von 1400 Metern schwebend den Schatten des Ballons, der Gondel und der darin befindlichen Personen

auf einer Wolke und den Schatten der Gondel von einer prächtigen, aus mehreren farbigen Ringen bestehenden Aureole umgeben. Bouguer beobachtete die Erscheinung öfters auf den Cordilleren in Südamerika, wo sie als Zirkel Ulloa's bekannt sind. Der Durchmesser des ersten Farbenringes (ohne nähere Angabe der Farbe) war bei einer solchen Beobachtung 5° 40′, der des zweiten 11° und der des vierten 17°. Er beobachtete, dass auch bei diesem Phänomen die Durchmesser der gleichfarbigen Ringe zu verschiedenen Zeiten sehr ungleich sind. Bei einem auf dem Pilatus beobachteten Nebenbilde mit Glorie fand Hagenbach den Durchmesser des innersten rothen Ringes gleich 2° 30′, woraus sich der Durchmesser der Nebelbläschen gleich 0,0158 mm ergiebt. Die Nebelbläschen, welche die von Bouguer besprochene Glorie hervorbrachten, hatten wohl kaum einen halb so grossen Durchmesser.

Fig. 268.

Bouguer bemerkt ausdrücklich, dass der Beobachter einer solchen Glorie stets von einem ganz feinen Nebel umgeben ist, und darauf gründet Fraunhofer die Erklärung des Phänomens. Die den Kopf des Beobachters umgebenden Kügelchen müssen die bekannten Beugungserscheinungen hervorbringen. Es sei nun in d, Fig. 268, das Auge des Beobachters und diesem zunächst, also nahe am Kopfe des Beobachters, in o ein Dunstkügelchen, auf welches in der Richtung ao Sonnenstrahlen fallen. Diejenigen, welche den Rand treffen, werden so gebeugt, dass die Strahlen, welche den ersten rothen Ring bilden, nach on und on' fahren. Die, welche den zweiten Ring bilden, gelangen nach q und q' u. s. w. Ist im Raume AB eine dichte, aus Dunstkügelchen bestehende Wolke, so wird diese das nahezu vertical auffallende Licht vorzugsweise in der Richtung zurückwerfen, in welcher es gekommen ist, das Auge in d wird die vom Kügelchen o gebeugten Strahlen ebenso zurückerhalten, wie sie auffielen und muss demnach auf der Wolke Farbenringe sehen, und zwar den ersten Ring unter dem Winkel $non' = 2\alpha$, den zweiten unter dem Winkel $qoq' = 2\beta$ u. s. w. Für alle übrigen, zunächst um den Kopf des Beobachters liegenden Kügelchen gilt dasselbe.

Die Fraunhofer'sche Erklärung der Glorie stützt sich auf die Voraussetzung, dass die Kügelchen, welche die Nebelwand AB bilden, einen namhaften Theil des Lichtes, welches sie trifft, in der nämlichen Richtung zurückwerfen, in welcher es auffiel. Für massive Wasserkügelchen ist dies durchaus nicht der Fall, denn wir wissen aus der Lehre vom Regenbogen, dass, wenn ein Bündel paralleler Sonnenstrahlen auf einen Wassertropfen fällt, wirksame Strahlen nur in zwei Richtungen austreten, von denen die eine einen Winkel von ungefähr 42° (nach einmaliger

Fig. 269.



innerer Spiegelung), die andere aber einen Winkel von ungefähr 52° (nach zweimaliger innerer Spiegelung) mit der Richtung der einfallenden Strahlen macht.

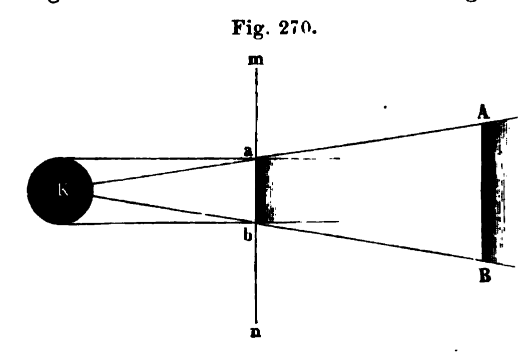
Während es also zur Erklärung der Höfe, welche wir im ersten Theil dieses Paragraphen betrachtet haben, gleichgültig ist, ob das leichte Wölkchen, welches sich zwischen der Sonne und dem Beobachter befindet, aus Wassertröpfchen oder aus Nebelbläschen besteht, ist zur Erklärung der Glorie die Annahme von Nebelbläschen durchaus nothwendig, da Clausius nachgewiesen hat, dass Nebelbläschen von einem Bündel paralleler Strahlen, welches dieselben trifft, nach einmaliger innerer Spiegelung einen namhaften Antheil des auffallenden Lichtes in der gleichen Richtung reflectirt, in welcher es gekommen war (Pogg. Ann. 88. Bd., 1853).

Fig. 269 zeigt den Nebelschatten nebst der ihn umgebenden Glorie nach einem Entwurf Hagenbach's. Offenbar hat man es hier mit zwei

ganz verschiedenen Erscheinungen zu thun, welche allerdings gleichzeitig auftreten, aber doch ganz unabhängig von einander sind. Die farbigen Ringe der Glorie sind, wie wir gesehen haben, ein Interferenzphänomen, während die Schattenfigur wirklich nichts Anderes ist als der Schatten, welchen der Körper des Beobachters auf die Nebelwand wirft, und in der That kann dieser Schatten für sich allein ohne die Ringe erscheinen, wenn die Nebelbläschen der den Schatten auffangenden Wand von sehr ungleicher Grösse sind.

In den meisten Fällen erscheint dem Beobachter sein Schatten von riesenhafter Grösse, was auf den ersten Blick höchst auffallend ist, da die Sonnenstrahlen den schattengebenden Körper in nahezu paralleler Richtung tangiren, der Schatten also keinen grösseren Durchmesser haben kann, als der schattengebende Körper selbst. Dass der Schatten riesenhaft erscheint, kann also nur auf einer optischen Täuschung beruhen, die übrigens leicht zu erklären ist. In Fig. 270 stelle K den Kopf des Beobachters und mn die vordere Fläche der den Schatten auffangenden Nebelwand dar, so wird der Schatten ab keinen grösseren Durchmesser haben als K selbst. Die Unbestimmtheit des Schattens aber und sonstige Umstände, welche die richtige Schätzung der Entfernung desselben verhindern, veranlassen, dass man ihn unwillkürlich in grössere Entfernung, etwa nach AB versetzt. Da aber der Gesichtswinkel, unter welchem der Schatten dem Beobachter erscheint, unverändert bleibt, so wird er ihn für um so grösser halten müssen, je weiter er ihm entfernt scheint.

Fig. 270.



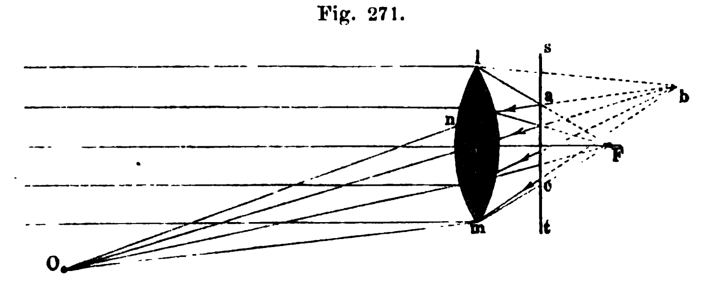
Die Glorie auf bethauten Wiesen. Wenn des Morgens früh bei hellem Sonnenschein der Schatten des Beobachters auf den stark bethauten, mit niederem Pflanzenwuchs dicht bedeckten Boden, etwa auf eine Wiese fällt, so sieht er den Schatten seines Kopfes mit einer lichten Glorie umgeben, deren Glanz mit der Entfernung vom Kopfschatten allmählich abnimmt; um den Schatten des Kopfes von Personen, die in seiner Nähe stehen, sieht er diese Glorie nicht. Diese Erscheinung hat manche Aehnlichkeit mit den im vorigen Paragraphen besprochenen Aureolen, in der Glorie aber lassen sich keinerlei Farbenringe unterscheiden; sie erscheint als ein farbloser Lichtschein, welcher dicht um den Kopfschatten seine grösste Helligkeit hat. Die Erklärung dieser Glorie lässt sich durchaus nicht auf die im vorigen Paragraphen erläuterte Theorie zurückführen, weil man es dort mit verschwindend kleinen 162

Nebelbläschen, hier aber mit massiven Wassertropfen von namhafter Grösse zu thun hat.

Man hat versucht, die Glorie auf die kleinen Sonnenbildchen zurückzuführen, welche sich durch Spiegelung der Sonnenstrahlen auf der Vorder- und Hinterfläche der Thautröpfchen bilden. Die Unzulänglichkeit dieser Erklärung lässt sich aber nicht nur auf theoretischem Wege darthun, sondern sie ergiebt sich auch aus dem Umstande, dass die Glorie gar nicht erscheint, wenn man es mit frei in der Luft schwebenden Wassertröpfchen zu thun hat, wie es beim Staubregen der Wasserfälle, bei Wasserstaubfontainen u. s. w. der Fall ist, und man so steht, dass ausser dem überhalbkreisförmigen Regenbogen auch noch der Schatten des Kopfes auf der Wasserstaubwolke sichtbar ist.

Von Lommel ist folgende Erklärung der beschriebenen Glorie gegeben (Jubelband zu Pogg. Ann.). Nach ihm besteht jener helle Schein aus dem Lichte, welches durch die Tropfen gebrochen, von

Fig. 271.



deren Unterlage aufgefangen wird und nun durch die Tropfen hindurch wieder zurückkehrt. Nur so erklärt es sich, dass die einzelnen Tropfen, welche die Glorie bilden, gleichsam von innen heraus zu leuchten scheinen, wenn man die Erscheinung nahe genug hat, um die einzelnen Thauperlen unterscheiden zu können.

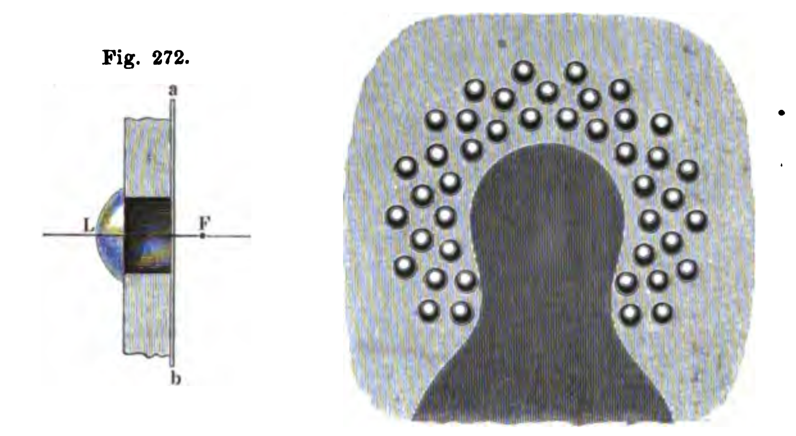
Nach dieser Ansicht lässt sich die Erscheinung ungefähr in folgender Weise nachahmen. In Fig. 271 sei lm eine Linse, deren Axe gerade gegen die Sonne gerichtet und deren Brennpunkt F ist. Wird nun der von der Linse gegen F convergirende Strahlenkegel durch einen Schirm st aufgefangen, so bildet sich hier ein hell erleuchteter Zerstreuungskreis ac, welcher Licht nach allen Richtungen hin gegen die Linse zurückwirft.

Wenn sich neben dem Strahlenbündel, welches die Sonne auf die Linse sendet, ein Auge in o befindet, dessen Linsenbild in b liegt, so ist klar, dass alle Strahlen, welche, wie die mit Pfeilspitzen bezeichneten, so von dem Erleuchtungskreise ac divergiren, als ob sie von b kämen, durch die Linse nach o gebrochen werden, dass also dem Auge in o der Theil der Linse von n bis m hell leuchtend erscheint, während der übrige Theil der Linse dunkel bleibt.

Je weiter nun das Auge o seitwärts von der Axe der auf die Linse fallenden Sonnenstrahlen entfernt ist, ein um so kleinerer Theil der Linsenfläche wird ihm erleuchtet erscheinen, desto geringer ist die Lichtmenge, welche das Auge von der Linse empfängt.

Der durch Fig. 271 schematisch angedeutete Versuch lässt sich in folgender Weise ausführen. In ein 5 bis 10 mm dickes Brett wird ein Loch von 10 bis 20 mm Durchmesser gebohrt und auf den Rand seiner Oeffnung eine planconvexe Linse L (Fig. 272) aufgekittet, deren Durchmesser 3 bis 6 mm grösser als der des Loches, und deren Brennweite ungefähr der doppelten Dicke des Brettes gleich ist. (Mit bestem Erfolge kann man sich zu diesem Versuche solcher Glaslinsen bedienen, wie sie zur Herstellung der Augen bei ausgestopften Thieren gebraucht werden.) Die hintere Fläche der Oeffnung kann man beliebig frei lassen oder mit einem

Fig. 272. Fig. 273.

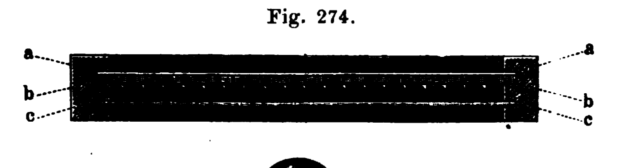


Blatt Papier ab bedecken. Das Brett wird so gestellt, dass die Sonnenstrahlen rechtwinklig auf dasselbe fallen. Der Beobachter stellt sich 2 bis 4 Fuss von demselben so auf, dass die Grenze seines Kopfschattens ganz nahe bei der Linse liegt. Der grösste Theil der Linsenfläche scheint ihm dann mit hellem Glanz zu leuchten, so lange die hintere Oeffnung durch das Papierblatt verdeckt ist und dieser Glanz verschwindet bis auf ein kaum merkliches Sonnenbildchen, sobald die Oeffnung frei wird.

In einem etwas grösseren Brett bringe man statt eines einzigen Loches mehrere concentrische Löcherreihen an, deren innerste einen Durchmesser von 25 cm hat und die alle in der angegebenen Weise durch Linsen bedeckt sind, so wird man bei richtiger Aufstellung des Brettes, wenn der Kopfschatten auf den von der innersten Linsenreihe eingeschlossenen Raum fällt, wie Fig. 273 andeutet, diesen von einem Kranze herrlich leuchtender Linsen umgeben sehen, welcher verschwindet, wenn der Papierschirm auf der Rückseite des Brettes weggenommen wird.

Statt der auf einem durchlöcherten Brett angebrachten Glaslinsen hat Lommel Linsen von Canadabalsam angewandt, welche auf einer 2 mm dicken quadratischen Glastafel von 32 cm Seitenlänge angebracht sind. Um sie herzustellen, lässt man auf die horizontal gelegte Glastafel mittelst eines Glasstabes recht dickflüssigen Balsam herabfliessen, so dass er schön gewölbte Tropfen bildet (Fig. 274 unten), welche ungefähr 7 mm Durchmesser haben und 1,5 mm dick sind. Es kommt durchaus nicht darauf

Fig. 274.



an, dass diese Linsen gleichen Durchmesser haben, sie müssen aber möglichst gleichförmig über die Platte, welche deren ungefähr eine auf einem Quadratcentimeter enthält, verbreitet sein. Wenn die Linsen gehörig getrocknet sind, wird die Glastafel *bb*, Fig. 274, in den Falz eines Holzrahmens eingeschoben und dicht hinter ihr befindet sich als Auffangfläche für die Zerstreuungskreise ein weisser Carton *aa*, der nach Belieben eingeschoben oder herausgezogen werden kann. In einen zweiten Falz kann eine Glastafel *cc* eingeschoben werden, welche nur den Zweck hat, die Linsen auf *bb* vor Staub und Verletzungen zu schützen und welche herausgezogen wird, wenn man den Versuch anstellen will.

Fig. 275.

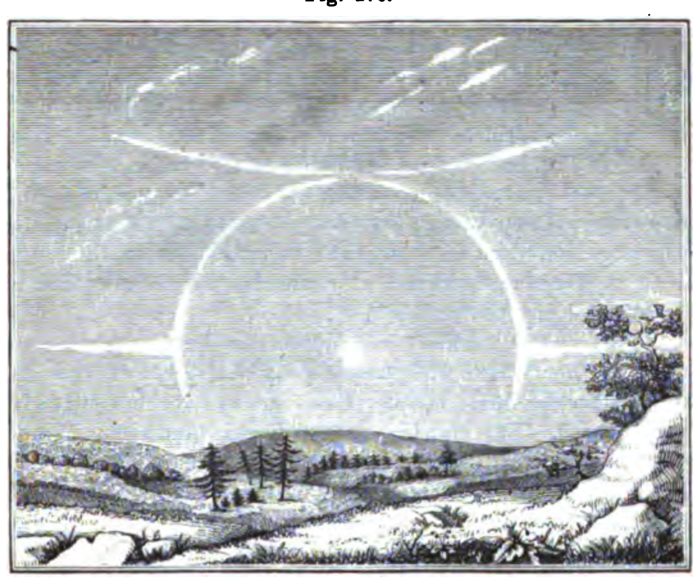
Statt der Linsen kann man zur Erläuterung der Erscheinung auch Glaskugeln von 1 bis 2 cm Durchmesser anwenden, welche mit Wasser gefüllt sind; sie werden in ein zu ihrer Aufnahme mit Löchern durchbohrtes Brett eingesetzt, wie Fig. 275 zeigt, und die Stiele der Kugeln auf der Rückseite des Brettes in entsprechende Rinnen eingelassen. Die Vorderseite des Brettes ist dunkel angestrichen und auf der Rückseite ein weisser Schirm dicht an die Glaskugeln angelegt. Mit dem Wegnehmen dieses Schirmes hört das Leuchten der Kugeln auf.

Nach diesen Erörterungen erklärt sich der „Heiligenschein" von selbst. Jeder Thautropfen erzeugt auf dem Blatte, auf welchem er, meist von zarten Härchen getragen, abgerundet schwebt, ohne dasselbe unmittelbar zu berühren, ein unvollkommenes Sonnenbildchen, welches die Strahlen als zerstreutes Licht gegen den Thautropfen zurücksendet und denselben auch einem etwas seitwärts stehenden Auge theilweise und zwar um so mehr erleuchtet erscheinen lässt, je näher die Tropfen dem Umriss des Kopfschattens liegen.

Ein Umstand, welcher sehr für die Richtigkeit der Lommel'schen Erklärung spricht, ist der, dass die Helligkeit der Glorie sehr von der Natur der Pflanzen abhängt, auf welchen die Thauperlen liegen; am lebhaftesten, dem Silberglanz sich nähernd, erscheint sie auf stark behaarten Blättern, namentlich, wenn die Haare einen weisslichen, wolligen oder filzigen Ueberzug bilden.

Ringe und Nebensonnen. Ganz anderen Ursprungs als die im vorigen Paragraphen besprochenen Höfe und Glorien sind die Lichtringe, welche öfters in grösserem Abstande die Sonne oder den Mond 163

Fig. 276.



umgeben und häufig auch mit dem Namen der Höfe bezeichnet werden; der Halbmesser des kleineren dieser engen Ringe erscheint unter einem Winkel von 22 bis 23°, der des grösseren aber unter einem Winkel von 46 bis 47°; das Roth ist bei beiden nach innen gekehrt, der innere Rand ist schärfer, der äussere mehr verschwommen und weniger deutlich gefärbt. Selten erscheinen die beiden Kreise zu gleicher Zeit. Tab. XXXV stellt die Erscheinung dar, wie man sie am häufigsten zu beobachten Gelegenheit hat, nämlich den Mond umgeben mit einem weisslichen Ringe von 22 bis 23° Radius. Um die Sonne wird dieser Ring seltener beobachtet; er erscheint dann meistens von einem horizontalen lichten Streifen durchschnitten, welcher in gleicher Höhe mit der Sonne sich oft bis zu dieser selbst hin erstreckt. Da, wo dieser Streifen den Lichtring durchschneidet, ist er am hellsten; diese hellen Stellen, welche man zu beiden Seiten der Sonne am Umfange des Ringes sieht, sind die

Nebensonnen; bisweilen erscheint eine solche Nebensonne auch vertical über der Sonne im höchsten Theile des Ringes; oder es erscheint hier ein Berührungsbogen, wie er in Fig. 276 (a. v. S.) dargestellt ist. Oft sieht man die Nebensonnen auch ohne die Ringe, oder die Ringe ohne die Nebensonnen. Diese Ringe und die Nebensonnen erscheinen ebenfalls nie bei ganz heiterem Himmel, sondern nur, wenn derselbe mit einem Schleier überzogen ist.

Nach Sonnenuntergang sieht man öfters noch eine verticale Lichtsäule, welche von dem Orte aufsteigt, wo die Sonne unterging. Diese meist schön roth gefärbte Lichtsäule entspricht dem verticalen, bis zur Sonne selbst sich fortsetzenden Nebensonnenstreifen.

Die erwähnten Ringe hat schon Mariotte durch eine Brechung des Lichtes in den in der Luft schwebenden Eisnadeln erklärt; wenn die Eisnadeln sechsseitige Säulen sind, so bilden immer je zwei nicht parallele und nicht zusammenstossende Seitenflächen einen Winkel von 60° mit einander, die Eisnadeln bilden also gewissermaassen gleichseitige dreiseitige Prismen, für welche das Minimum der Ablenkung ungefähr 23° beträgt. Solche Strahlen nun, welche in den Eisnadeln das Minimum der Ablenkung erlitten haben, sind den wirksamen Strahlen des Regenbogens analog, weil viele Strahlen sehr nahe in derselben Richtung austreten. Diese Hypothese erklärt also zugleich die Bildung des Ringes, seine Grösse und die Anordnung der Farben.

Der Ring von 46° erklärt sich durch die Annahme, dass die Axe der Prismen in der Weise schief steht, dass der rechte Winkel, welchen die Seitenflächen der Säule mit der Basis bilden, der brechende Winkel des Prismas wird. Für ein Eisprisma, dessen brechender Winkel 90° beträgt, ist in der That das Minimum der Ablenkung 46°.

Den horizontalen Nebensonnenstreifen erklärt man durch die Reflexion der Sonnenstrahlen an den verticalen, die verticalen Lichtstreifen durch Reflexion an den horizontalen Flächen der Eisnadeln. Sie sind da am hellsten, wo sie den Ring von 23° durchschneiden, weil hier zwei Ursachen stärkerer Erleuchtung zusammenwirken. Fraunhofer erklärt die Nebensonnenstreifen als Interferenzerscheinung. Am vollständigsten ist die Theorie der Höfe und Nebensonnen von Galle behandelt worden (Pogg. Annal. Bd. XLIX).

DRITTES BUCH.

DIE

CALORISCHEN ERSCHEINUNGEN

AUF DER

ERDOBERFLÄCHE

UND

IN DER ATMOSPHÄRE.

Erstes Capitel.

Verbreitung der Wärme auf der Erde.

Die Meteorologie. Steigen wir aus den Himmelsräumen herab 164
auf die Oberfläche der Erde, so befinden wir uns auf einem Schauplatz, auf welchem sich nicht bloss physikalische Phänomene entwickeln, sondern auf welchem uns auch ein reiches, vielgestaltetes organisches Leben entgegentritt. Zu den wichtigsten Factoren, durch welche das Leben der Pflanzen- und Thierwelt von den einfachsten und niedrigsten Formen bis zu den entwickeltsten und vollendetsten vermittelt wird, gehören ohne Zweifel die Luft, das Wasser und die Wärme.

Alles organische Leben ist durch Stoffwechsel bedingt, der Stoffwechsel hängt aber von einer gewissen Beweglichkeit der Atome ab, welche nur bei luftförmigen und tropfbaren flüssigen Körpern vorhanden ist. Die Beweglichkeit der Theilchen, ohne welche Stoffwechsel und mithin organisches Leben unmöglich ist, wird aber nur durch die Wärme erhalten. Ohne Wärme erstarren alle Flüssigkeiten und eine vollständige Erstarrung führt den Tod aller Organismen nach sich.

Während also Luft und Wasser diejenigen Stoffe sind, welche vorzugsweise als Träger des organischen Lebens bezeichnet werden müssen, erscheint uns unter allen Naturkräften keine für das organische Leben unentbehrlicher als die Wärme.

Die Wärme ist auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre nicht nur ungleich verbreitet, sondern diese Verbreitung selbst ist einem beständigen Wechsel unterworfen, welcher Luftströmungen (Winde) erzeugt und auf der einen Seite massenhafte Verdampfung des Wassers, auf der anderen Seite aber den Niederschlag des in der Atmosphäre verbreiteten Wasserdampfes bedingt, wodurch dann Wolken, Regen, Schnee u. s. w. erzeugt werden.

Der jeweilige Wärme- und Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre und die damit zusammenhängenden Erscheinungen werden gewöhnlich als Witterung bezeichnet.

Die Gesammtheit der Witterungsverhältnisse eines Ortes nennt man das Klima desselben.

Mit dem Namen der Meteorologie bezeichnet man denjenigen Zweig der Naturlehre, welcher sich mit der Untersuchung der Witterungserscheinungen und den damit zusammenhängenden atmosphärischen Phänomenen beschäftigt.

Wenn man die Meteorologie hinsichtlich der Sicherheit ihrer Resultate mit der Astronomie vergleicht, so fällt diese Vergleichung im höchsten Grade ungünstig für die Meteorologie aus.

Auf Jahrzehnte, ja auf Jahrhunderte voraus kann man den Moment berechnen, in welchem eine Sonnen- oder Mondfinsterniss beginnen und aufhören wird. Mit gleicher Sicherheit kann man die Stelle am Himmelsgewölbe vorausbestimmen, an welcher ein Planet in einem bestimmten Zeitpunkte stehen wird, so dass man jetzt ein Fernrohr so aufzustellen im Stande ist, dass ein bestimmter Planet nach zehn, ja nach hundert Jahren an einem bestimmten Tage zu einer bestimmten Stunde das Gesichtsfeld des Fernrohrs passiren muss. — Dagegen ist es meist unmöglich, die Witterung nur auf wenige Tage, oft auch nur auf wenige Stunden mit Sicherheit voraus zu bestimmen.

Wollte man aus der Vergleichung astronomischer und meteorologischer Vorausbestimmungen einen Schluss ziehen auf die Sicherheit unserer Erkenntniss derjenigen physikalischen Gesetze, welche beiden Disciplinen zu Grunde liegen, so würde man doch einen grossen Irrthum begehen.

Die Bewegungen der Himmelskörper sind nur durch mechanische Gesetze bedingt; die Erklärung der meteorologischen Erscheinungen müssen wir dagegen vorzugsweise in den Gesetzen der Wärmelehre suchen.

Wenn nun freilich die Mechanik die vollendetste aller physikalischen Disciplinen ist, so sind doch auch die empirischen Gesetze der Wärmelehre so fest begründet, und die mechanische Wärmetheorie ist bereits so weit ausgebildet, dass der Abstand zwischen der wissenschaftlichen Vollendung der Mechanik und der Wärmelehre keineswegs so gross ist, als es nach dem obigen Vergleich astronomischer und meteorologischer Vorausbestimmungen scheinen möchte.

Die Unsicherheit meteorologischer Vorausbestimmungen rührt also nicht von der Unsicherheit der physikalischen Gesetze her, welche hier in Anwendung kommen, sondern daher, dass die hier thätigen Kräfte unter den complicirtesten und stets wechselnden Verhältnissen zur Wirkung gelangen.

Die Bewegung der Planeten ist fast ausschliesslich durch die Massenanziehung der Sonne bestimmt, die Störungen, welche die Planetenbahnen durch die gegenseitige Einwirkung der Planeten unter einander erleiden,

sind äusserst gering. Wären in unserem Planetensystem zwei Sonnen vorhanden, welche um einen gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen, wie dies bei den Doppelsternsystemen wirklich der Fall ist, so würden die Bewegungen der in diesem System etwa vorhandenen Planeten schon der verwickeltsten Art sein, und gewiss würde die Sicherheit der Vorausberechnung für ein solches System weit hinter der Sicherheit unserer Astronomie zurückbleiben, obgleich hier wie dort das Gesetz der allgemeinen Massenanziehung den Gang der Erscheinungen beherrscht.

Die Wärme auf der Erdoberfläche rührt, wie wir bald sehen werden, fast ausschliesslich von den Sonnenstrahlen her.

Wäre nun die Erdoberfläche überall ganz gleicher Natur, bestände sie z. B. mit Ausschluss allen Wassers überall aus derselben Gesteinsart ohne alle Erhebung, und wäre die Erde wie der Mond ohne Atmosphäre, so wäre der Gang der calorischen Erscheinungen auf der Erdoberfläche ohne Zweifel von der grössten Regelmässigkeit. So aber wirken die Sonnenstrahlen bald auf Wasser, bald auf Land; bald ist der Boden ihrer Wirkung direct ausgesetzt, bald werden sie von dichten Wolkenmassen aufgehalten. Die an einem Orte durch die Sonnenstrahlen entwickelte Wärme wird durch die Luft- und Meeresströmungen anderen Gegenden zugeführt. Die Wirkung der Sonnenstrahlen auf die Erdoberfläche wird also durch so mannigfaltige Einflüsse modificirt, die uns zum Theil nicht einmal genügend bekannt sind, dass ein einfacher, mit Sicherheit voraus zu bestimmender Gang der Erscheinungen nicht möglich ist, obgleich wir im Stande sind, den Zusammenhang der meteorologischen Erscheinungen nachzuweisen.

Erwärmung der Erdoberfläche durch die Sonnenstrahlen. 165 Die Erwärmung unserer Erdoberfläche und der Atmosphäre stammt fast ausschliesslich von der Sonne her; denn die eigenthümliche Wärme des Erdkörpers ist auf seiner Oberfläche nicht mehr merklich und die Wärmemenge, welche durch chemische Processe, z. B. durch Verbrennung entwickelt wird, ist verschwindend gegen die Wärmequantitäten, welche den Gang der meteorologischen Verhältnisse bedingen. Die Sonnenstrahlen allein sind es also, welche theilweise in der Atmosphäre, vorzugsweise aber von der Erdoberfläche absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt, die zur Erhaltung der thierischen und pflanzlichen Organismen nöthige Wärme liefern.

Die Erwärmung des Bodens hängt von der Richtung ab, in welcher die Sonnenstrahlen ihn treffen, und da diese Richtung eine nach bestimmten Gesetzen regelmässig wechselnde ist, so ist klar, dass der Erwärmungszustand der Erdoberfläche und der unteren Schichten der Atmosphäre periodischen Variationen folgen muss, und zwar haben wir eine tägliche und eine jährliche Periode im Gange der Lufttemperatur (der Temperatur der untersten Luftschichten) zu unterscheiden.

Während der Erde durch die Sonnenstrahlen Wärme zugeführt wird, verliert sie auf der anderen Seite Wärme durch Ausstrahlung gegen die kälteren Himmelsräume. Im Allgemeinen halten sich Ein- und Ausstrahlung das Gleichgewicht, d. h. die Summe der Wärme, welche der Erde durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist derjenigen gleich, welche sie durch Ausstrahlung verliert. Dabei ist aber die Wärme über die Erdoberfläche weder gleichförmig noch unveränderlich vertheilt. Die höchste Erwärmung der Erdoberfläche und der unteren Luftschichten finden wir in den Aequatorialgegenden, während es um so kälter wird, je mehr wir uns den Polen nähern. Fassen wir aber die Temperatur irgend eines bestimmten Ortes auf der Erdoberfläche ins Auge, so zeigt sich, dass sie beständigen Schwankungen unterworfen ist, indem in Folge der veränderlichen Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche bald die Einstrahlung, bald die Ausstrahlung das Uebergewicht gewinnt.

Da nun aber die Veränderungen, welche die Stellung der Sonne gegen die Erdoberfläche erfährt, an zwei Perioden, eine tägliche und eine jährliche, gebunden sind, so ist klar, dass auch die Variationen der Temperatur an irgend einem Orte der Erdoberfläche eine tägliche und eine jährliche Periode befolgen müssen.

166 **Die fünf Zonen.** Für verschiedene Gegenden der Erdoberfläche sind die Insolationsverhältnisse äusserst ungleich. Innerhalb der Wendekreise, wo Tag und Nacht das ganze Jahr hindurch fast gleich sind, wo die Sonne bei ihrem höchsten Mittagsstande das Zenith passirt, und wo die niedrigste Mittagshöhe mindestens 43° (die niedrigste Mittagshöhe der Sonne ist für die Wendekreise 43° 6′, für den Aequator 66° 33′) beträgt, wo also täglich die Sonnenstrahlen eine kräftige Wirkung ausüben können, muss auch stets eine hohe Lufttemperatur herrschen. Jener zwischen den Wendekreisen gelegene Aequatorialgürtel wird deshalb auch die heisse Zone genannt. Sie ist der Schauplatz des reichsten Thier- und Pflanzenlebens.

Die Gegenden der heissen Zone werden auch die Tropen genannt, weil sie zwischen den Wendekreisen, den circulis tropicis, liegen.

Den Gegensatz der heissen Zone bilden die Umgebungen der Pole. Innerhalb der beiden von den Polarkreisen (66° 33′ nördlicher und südlicher Breite) begrenzten Kugelabschnitte kommt die Sonne Tage, Wochen, Monate lang gar nicht über den Horizont, und auch dann nur, um in sehr schräger Richtung den Boden zu bescheinen; hier also kann nur eine geringe Wärmeentwickelung stattfinden und hier starrt deshalb auch fast das ganze Jahr hindurch die Natur in Schnee und Eis.

Der von dem nördlichen Polarkreis eingeschlossene Raum wird die nördliche, der von dem südlichen Polarkreis eingeschlossene Raum die südliche kalte Zone genannt.

Der Gürtel zwischen dem nördlichen Wendekreis und dem nördlichen Polarkreis bildet die nördliche gemässigte Zone, gleichwie die süd-

liche gemässigte Zone sich vom südlichen Wendekreise bis zum südlichen Polarkreis erstreckt. Je mehr man in diesen gemässigten Zonen gegen die Polarkreise vordringt, desto mehr nähern sich die Temperaturverhältnisse denen der kalten Zone.

Im Allgemeinen also sind die Temperaturverhältnisse eines Ortes eine Function seines Abstandes vom Aequator, also seiner geographischen Breite, und wenn sie nur von den Insolationsverhältnissen bedingt wären, wenn nicht andere Factoren modificirend einwirkten, so müsste die mittlere Lufttemperatur gleich sein für alle. Orte gleicher geographischer Breite. Wir werden bald sehen, dass, und warum dies nicht der Fall ist.

Die tägliche Periode. Wenn die Sonne, nachdem sie am öst- 167
lichen Himmel aufgegangen ist, höher und höher über den Horizont sich erhebt, so muss die immer kräftiger wirkende Insolation ein Steigen der Lufttemperatur zur Folge haben. Wenn die Sonne ihren höchsten Stand erreicht hat, so ist jedoch die Temperatur der Erdoberfläche noch keineswegs so hoch gestiegen, dass sie ebenso viel Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlen könnte, als sie durch die Sonnenstrahlen empfängt. Deshalb dauert das Steigen der Temperatur noch über Mittag fort, und erst 1 bis 2 Stunden nach der Culmination der Sonne, wenn ihre Höhe schon merklich abgenommen hat, tritt ein momentaner Gleichgewichtszustand zwischen Ein- und Ausstrahlung ein, das Maximum der täglichen Temperatur findet deshalb erst um 1 bis 2 Uhr Nachmittags statt. Von da an aber gewinnt bei immer mehr sinkender Sonne die Ausstrahlung das Uebergewicht, die Temperatur sinkt anfangs langsam, dann rascher in den Abendstunden. Während der Nacht, wo gar keine Einstrahlung stattfindet, dauert das Sinken der Temperatur mit abnehmender Schnelligkeit fort, bis sie zur Zeit des Sonnenaufganges ihr Minimum erreicht hat.

Da im Sommer die Sonnenhöhen im Laufe des Tages zwischen weiteren Grenzen variiren (zwischen 0 und 63° für das mittlere Deutschland), als im Winter (zwischen 0 und 17° für den 50. Breitengrad), so ist klar, dass die Grenzen, zwischen welchen die Temperatur im Laufe eines Tages schwankt, im Sommer weiter aus einander liegen als im Winter. In der That beträgt z. B. für München die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur des Tages im Monat Januar im Durchschnitt nur 3,4° C., während im Juli das tägliche Maximum durchschnittlich 8,9° höher ist, als das tägliche Minimum.

Aus ähnlichen Gründen müssen nun auch die täglichen Temperaturschwankungen in den Aequatorialgegenden viel bedeutender sein, als in höheren Breiten. Auch dies wird durch die Erfahrung bestätigt; so beobachtete z. B. Barth auf seiner Reise in das Innere von Afrika vom Aufgang der Sonne bis zum Nachmittag oft ein Steigen von 6 auf 30, ja von 8 auf 43° Celsius.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung allerdings die Resultate unserer obigen Ausführungen über den täglichen Gang der Wärme, sobald wir aber einzelne Tage herausgreifen, finden wir häufig solche Störungen des normalen Ganges, dass das Gesetz vollständig verwischt erscheint.

Von der Natur dieser Störungen und ihren Ursachen wird weiter unten die Rede sein.

168 **Die Jahreszeiten.** Die Sonne theilt nicht allein mit dem ganzen Himmelsgewölbe die tägliche Umdrehung, sondern sie legt im Laufe eines Jahres am Himmelsgewölbe eine Bahn zurück, welche zur Hälfte nördlich, zur anderen Hälfte südlich von dem Himmelsäquator liegt. Eine Folge davon ist, dass wenigstens in den gemässigten Zonen Tagesdauer und Mittagshöhe der Sonne ein halbes Jahr lang zunehmen, um dann in der folgenden Jahreshälfte in gleicher Weise wieder abzunehmen. Dies hat dann den regelmässigen Wechsel der Jahreszeiten zur Folge, deren Verlauf wir zunächst für die geographische Breite des mittleren Deutschlands betrachten wollen.

Am 20. März passirt die Sonne den Himmelsäquator, um von der südlichen auf die nördliche Himmelskugel überzugehen. Tag und Nacht sind gleich lang, und die Mittagshöhe, zu welcher die Sonne ansteigt, beträgt für einen Ort von 50° geographischer Breite 40°. Nun aber findet eine rasche Zunahme der Mittagshöhe der Sonne sowohl wie auch der Tagesdauer statt; bei immer kräftiger werdender Insolation bleibt der Boden nun länger und länger dem erwärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen ausgesetzt, die Lufttemperatur muss also steigen.

Allmählich wird die Zunahme der Tagesdauer und der Mittagshöhe langsamer, bis endlich am 21. Juni die Sonne ihre grösste nördliche Breite erreicht, und somit auch der längste Tag von 16 Stunden und die grösste Mittagshöhe der Sonne von $63^1/_2$ Graden eintritt.

Aus demselben Grunde, warum das tägliche Maximum der Temperatur nicht auf die Mittagsstunde fällt, tritt auch das jährliche Temperaturmaximum nicht mit dem längsten Tage ein, sondern später, so dass im Durchschnitt der Juli der heisseste Monat ist.

Nach dem längsten Tage nimmt die Tagesdauer und die Mittagshöhe der Sonne erst langsam, dann rascher ab, und mit der raschen Abnahme beider stellt sich dann auch ein Sinken der Luftwärme ein. Am 22. September, dem Herbstäquinoctium, passirt die Sonne abermals den Himmelsäquator, um auf die südliche Hemisphäre der Himmelskugel überzugehen. Nun werden die Nächte länger als der Tag, die Mittagshöhe der Sonne nimmt mehr und mehr ab, bis sie am 21. December, als am kürzesten Tage (von 8 Stunden) ihr Minimum von 17 Grad erreicht. Unter diesen Umständen, da die Wirkung der ohnehin sehr schräg auffallenden Sonnenstrahlen nur auf wenige Stunden beschränkt bleibt, und der Boden die lange Nacht hindurch Wärme durch Ausstrahlung verliert, muss die Lufttemperatur bedeutend sinken; doch tritt das Minimum der Jahres-

temperatur in der Regel erst gegen die Mitte des Januar ein, da unmittelbar nach dem kürzesten Tage die Zunahme der Tageslänge und der Mittagshöhe der Sonne noch zu unbedeutend ist, um ein Steigen der Temperatur bewirken zu können.

So ist denn im Allgemeinen der Gang der Lufttemperatur im Laufe des Jahres für Deutschland folgender: Von der Mitte Januar an steigt die Temperatur bis gegen die Mitte Juli, um von da allmählich bis zur Mitte Januar wieder abzunehmen. Das Steigen und Fallen der Temperatur geschieht am langsamsten vor und nach der Zeit des jährlichen Maximums und Minimums, am schnellsten zur Zeit der Aequinoctien.

Die drei heissesten Monate, Juni, Juli und August, bilden den Sommer, die Zeit, in welcher die kräftigste Entwickelung der Vegetation vor sich geht. Den Winter bilden die drei kältesten Monate, December, Januar und Februar, während welcher die Vegetation fast gänzlich ruht. Während des Frühlings, März, April und Mai, findet ein allmähliches Erwachen, während des Herbstes, September, October und November, ein allmähliches Absterben der Pflanzenwelt statt.

Die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und des kältesten Monats beträgt für Deutschland im Durchschnitt 20° C.

Der oben beschriebene Wechsel der Jahreszeiten bezieht sich auf Länder mittlerer geographischer Breite; in höheren wie in niederen Breiten gestaltet sich die Sache wesentlich anders.

Unter höheren Breiten wird die Dauer des kürzesten Tages immer geringer, die Sonnenhöhe immer unbedeutender, die Winterkälte muss also gegen die Pole hin immer zunehmen; zugleich aber nimmt die Dauer des Winters zu, denn während der Aequinoctialperiode ist die Wirkung der Sonnenstrahlen in jenen Ländern noch viel zu gering, um Eis und Schnee zu schmelzen oder das Gefrieren des Wassers zu verhindern, der Winter erstreckt sich also noch über einen Theil der Monate, welche bei uns den Frühling und den Herbst ausmachen. Im Sommer aber wird die im Vergleich zu unseren Gegenden geringere Mittagshöhe der Sonne durch die längere Dauer der Sommertage nahezu wieder ausgeglichen (unter dem 60. Breitengrade z. B., welcher ungefähr über Petersburg und Stockholm geht, ist der längste Tag $18^1/_2$ Stunden, die höchste Mittagshöhe der Sonne $53^1/_2{}^0$), so dass die Sommerhitze immer noch eine sehr bedeutende werden kann. In jenen Gegenden herrscht also ein langer kalter Winter, welcher rasch in einen heissen kurzen Sommer übergeht, so dass die Uebergangs-Jahreszeiten, Frühling und Herbst, mehr und mehr verschwinden.

Innerhalb der Polarkreise fallen endlich die Sonnenstrahlen selbst zur Zeit der grössten Sonnenhöhe noch so schräg auf, dass sie trotz der langen Tagesdauer keine kräftige Erwärmung hervorbringen können; statt des Sommers tritt nur eine mehr oder weniger bedeutende Unterbrechung in der Strenge der Winterkälte ein.

Wenden wir uns von Deutschland aus zu den südlicheren Ländern, so muss dort aus zweierlei Gründen der Winter immer milder werden, denn einmal erreicht die Sonne selbst zur Zeit des Wintersolstitiums noch eine ziemlich bedeutende Mittagshöhe (unter dem 30. Breitengrade z. B. noch $36^1/_2{}^0$), während zugleich die Dauer der Wintertage grösser ist als bei uns (für den 30. Breitengrad z. B. ist die Dauer des kürzesten Tages 10 Stunden 4 Minuten). Während so die Winterwärme steigt, wächst die Sommerwärme nicht in gleichem Maasse, denn die Wirkung der grösseren Sonnenhöhe wird dadurch zum Theil neutralisirt, dass die Sommertage nicht so lang sind wie bei uns.

Die Differenz zwischen Sommer- und Wintertemperatur muss also um so mehr abnehmen, je mehr wir uns von den Polen aus den Wendekreisen nähern.

Innerhalb der Wendekreise aber verschwindet der Charakter unserer Jahreszeiten fast ganz. Auf dem Aequator passirt die Sonne zweimal, im März und September, das Zenith, während die niedrigste Mittagshöhe der Sonne (Ende Juni und December) noch $66^1/_2{}^0$ beträgt. Bedenkt man ferner, dass auf dem Aequator das ganze Jahr hindurch Tag und Nacht gleich sind, so begreift man leicht, dass die jährlichen Temperaturvariationen für die Aequatorialgegenden nur sehr unbedeutend sein können.

Vom Aequator aus gegen die Wendekreise hin wird allmählich der Charakter unserer Jahreszeiten wieder merklich, während er erst in den gemässigten Zonen entschieden zur Geltung kommt.

In den südlichen gemässigten Zonen wechseln die Jahreszeiten wie bei uns, nur ist begreiflich dort Winter, wenn wir Sommer haben und umgekehrt.

Im Allgemeinen bestätigt die Erfahrung die Resultate der obigen Betrachtung. So beträgt z. B. die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des heissesten und des kältesten Monats für

Quito	1,7° C.
Havannah	5,6
Mexico	7,0
Palermo	14,0
Rom	17,4
München	20,2
Prag	22,0
Moskau	30,0
Irkutzk	38,7
Jakutzk	61,5

169 **Modificationen normaler Temperaturverhältnisse.** Die durch die Attraction der Sonne vorgeschriebene Bahn eines jeden Planeten wird durch den störenden Einfluss der übrigen kaum alterirt, die Störungen spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Anders ist es mit den klimatischen Verhältnissen. Allerdings ist der Erwärmungs-

zustand der unteren Luftschichten eine Function der Insolationsverhältnisse, aber eine Function, in welcher mehrere mannigfach wechselnde Factoren eintreten, so dass die Störungen den regelmässigen Gang oft gänzlich maskiren. Wäre die Natur der Erdoberfläche überall dieselbe (d. h. fehlte die Abwechselung zwischen Wasser und Land, zwischen Berg und Thal, zwischen bewaldetem und pflanzenleerem Boden), würde die Wirkung der Insolation nicht durch wechselnde Bewölkung des Himmels modificirt, und würde die Wärme nicht durch Luft und Meeresströmungen von einem Orte zum anderen fortgeführt, so müssten nicht allein alle Orte gleicher geographischer Breite gleiche klimatische Verhältnisse haben, sondern es müssten auch die täglichen und jährlichen Variationen der Lufttemperatur vollkommen regelmässig verlaufen.

Dem ist aber in der That nicht so. — So hat z. B. Neapel eine mittlere Jahreswärme von 15,9° C., während bei gleicher nördlicher Breite New-York nur eine mittlere Jahreswärme von 11,0° hat. Christiania hat eine etwas grössere mittlere Jahreswärme (5,2°) als Quebec (4,2°) und doch liegt Quebec um mehr als 13 Breitengrade südlicher als Christiania. Ebenso ist an einem und demselben Orte der Gang der Wärme von einem Jahre zum anderen sehr verschieden, und demselben Jahrestag entspricht keineswegs stets dieselbe Temperatur, wie es sein müsste, wenn die Luftwärme allein vom Sonnenstande abhinge. So war z. B. zu Frankfurt am Main — 17,5° C. die mittlere Temperatur des 22. Januar 1850, + 10,6° die desselben Tages im Jahre 1846. — Im Jahre 1846 war zu Frankfurt am Main der 22. Januar um 2° wärmer als der 14. Mai. Ebendaselbst fiel im Jahre 1841 der heisseste Tag auf den 24. Mai (mit 25° C.), im Jahre 1842 aber auf den 19. August (mit 26,2° C.).

Solche Anomalien zeigen deutlich, wie sehr die Luftwärme ausser den Insolationsverhältnissen noch von anderen mächtig influirenden und veränderlichen Factoren bedingt wird. Wenn am 22. Januar 1846 zu Frankfurt am Main eine Wärme von 10,6° C. herrschte, so konnte diese hohe Temperatur unmöglich direct durch die Sonnenstrahlen hervorgerufen sein, und zwar um so weniger, als jener Tag ein durchaus bewölkter Regentag war; die damals herrschenden Südwestwinde hatten die Wärme offenbar aus südlicheren Gegenden zugeführt; ebenso wie die verhältnissmässig niedrige Temperatur des 14. Mai 1846 nur das Resultat rauher Nordostwinde war.

Somit ist denn klar, dass theoretische Betrachtungen nicht genügen, um die klimatischen Verhältnisse eines Landes zu bestimmen oder den Gang der täglichen oder jährlichen Temperaturschwankungen zu ermitteln. Die wahre Vertheilung der Wärme auf der Erdkugel lässt sich nur durch zahlreiche, Jahre lang fortgesetzte Beobachtungen genügend ermitteln. Humboldt hat hier den für alle Naturwissenschaften einzig und allein zur Wahrheit führenden Weg der Induction zuerst mit Erfolg betreten. Auf seinen Reisen auf beiden Hemisphären hat er mit uner-

müdlichem Eifer zahlreiche Thatsachen gesammelt, und durch geistreiche Combinationen dieser Thatsachen zuerst eine wissenschaftliche Meteorologie begründet.

170 **Thermometer-Beobachtungen.** Um durch die Beobachtung des Thermometers den Gang der Lufttemperatur für irgend einen Ort kennen zu lernen, bedarf es vor Allem guter und zweckmässig aufgestellter Thermometer.

Die zu meteorologischen Beobachtungen dienenden Thermometer sind fast ausschliesslich Quecksilberthermometer. Nur in Ausnahmefällen, z. B. wenn die Temperatur nahe bis zum Gefrierpunkte des Quecksilbers oder selbst noch unter denselben fällt, müssen Weingeistthermometer angewendet werden.

Früher waren in Deutschland zu meteorologischen Beobachtungen fast ausschliesslich Thermometer von Réaumur'scher Scala angewandt worden, in neuerer Zeit aber ist die, ohnehin bei allen übrigen wissenschaftlichen Untersuchungen allgemein benutzte 100theilige Scala mehr und mehr auch bei meteorologischen Beobachtungen eingeführt.

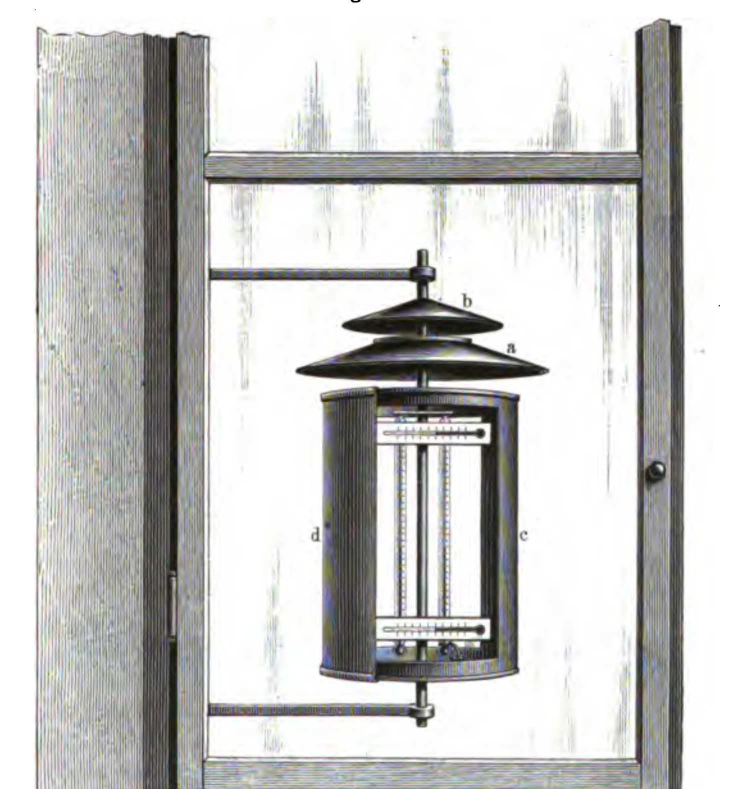
Damit die Thermometer wirklich die Temperatur der freien Luft angeben, müssen sie durch ihre Aufstellung sorgfältig vor allen störenden Einflüssen geschützt sein, was die Societas palatina zu Mannheim schon im Jahre 1781 durch folgende Bestimmungen zu erreichen suchte: „Das Thermometer soll ausserhalb des Zimmers frei, d. h. etwas entfernt sowohl vom Boden als von den Wänden des Gebäudes so aufgehängt werden, dass ihm zwar gegen Norden ein freier Horizont geboten ist, aber sowohl die directen als auch die reflectirten Sonnenstrahlen von ihm abgehalten sind. Beim Ablesen soll man sich hüten, den Stand weder durch den Rauch der Lampe, noch durch den Athem zu verändern."

Die Thermometer der deutschen meteorologischen Stationen befinden sich in einem Blechgehäuse, Fig. 277, welches unten offen, oben aber von einem conischen Dach *a* überdeckt ist, über dessen obere Oeffnung ein zweites conisches Dächlein *b* so angebracht ist, dass zwischen *a* und *b* noch ein freier Zwischenraum bleibt. An zwei Seiten befinden sich ferner feste cylindrische Blechwände *c*, durch welche die Thermometer gegen störende Bestrahlung geschützt werden können, von denen das eine aber in der Figur nicht sichtbar ist, und zwei drehbare Blechwände *d*, durch welche das Gehäuse verschlossen werden kann, von denen aber der Deutlichkeit wegen ebenfalls nur die eine gezeichnet ist.

Auf diese Weise ist das Thermometer sowohl vor Schnee und Regen als auch vor jeder directen Strahlung geschützt, während ein freier Luftzug nach allen Seiten hin gesichert ist. Aber das Gehäuse selbst darf nicht von den directen Sonnenstrahlen getroffen werden, weil es sich sonst stark erhitzen würde. Da aber selbst eine freie, nach Norden gerichtete Wand im Sommer morgens und abends von den Sonnenstrahlen

getroffen wird, so muss durch leichte, etwa zwei Fuss entfernte Bretter dafür gesorgt sein, dass das Gehäuse mindestens $2^1/_2$ Stunden vor der Ablesung nicht von der Sonne beschienen werden kann. Es versteht sich von selbst, dass das nach Norden gelegene Zimmer, vor dessen Fenster das Thermometer aufgestellt ist, im Winter nicht geheizt werden

Fig. 277.



darf, und dass das Fenster gleich nach gemachter Ablesung wieder geschlossen werden muss.

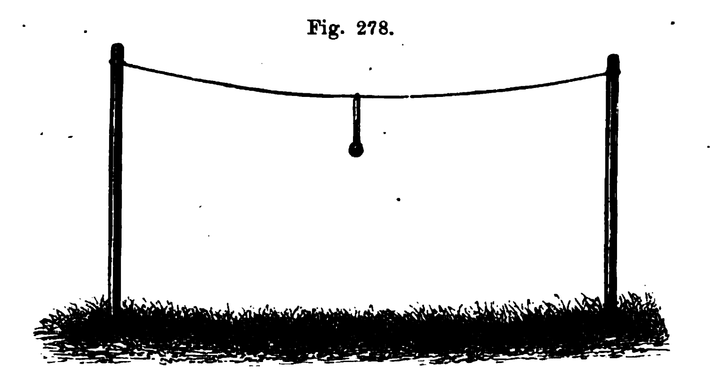
Noch besser als die eben besprochene Aufstellung vor einem nach Norden gelegenen Fenster ist die folgende: Das Blechgehäuse, welches in diesem Falle auch rechteckig sein kann und durch jalousieartige Wände gebildet wird, kommt in ein rechteckiges, von vier Pfählen getragenes, in allen Dimensionen um mindestens 60 cm grösseres Gehäuse von

leichten Brettern zu stehen, welches nach Norden offen, auf der unteren Seite bloss mit zwei Holzleisten zum Tragen des Blechkastens versehen ist. Es soll dasselbe an einer ringsum freien Stelle, wo möglich 3 m über dem Erdboden sich befinden. Behufs der Ablesung wird eine feste oder bewegliche Treppe an das Gerüst gestellt (Wild, Instruction für meteorologische Stationen in Russland).

Ausser dem Thermometer, an welchem die Lufttemperatur abgelesen wird, befinden sich in dem Blechgehäuse noch andere Instrumente, von denen später die Rede sein wird.

Lamont (Jahresber. der Münchener Sternwarte für 1852) machte die auf den ersten Blick überraschende Beobachtung, dass ein Thermometer, welches auf einem ganz freien Grasplatz (nicht auf einer nackten Sandfläche), entfernt von Gebäuden und Bäumen, aufgehängt, also nicht bloss dem Luftzuge, sondern auch den Strahlen der Sonne, wenn dieselbe scheint, ausgesetzt ist, eine Temperatur zeigt, welche nur wenig von der Lufttemperatur im Schatten abweicht. Zwischen zwei 8 Fuss hohen Stangen, Fig. 278, war ein dünner Draht ausgespannt, an welchem ein

Fig. 278.



Thermometer mit auf das Rohr eingeätzter Scala mittelst Bindfaden ganz kurz angebunden war. Zwei Jahre lang (1850 und 1851) wurde der Stand dieses Thermometers von Morgens 7 Uhr bis Abends 6 Uhr von Stunde zu Stunde beobachtet und mit dem gleichzeitigen Stande eines im Schatten aufgehängten Thermometers verglichen. Die folgende Tabelle enthält die mittlere Differenz des Sonnenthermometers von der Temperatur im Schatten für die Stunden 7 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags und 6 Uhr Abends im Jahre 1850.

	7 Uhr	12 Uhr	6 Uhr
Januar	— 0,06° C.	— 0,07° C.	— 0,10° C.
Februar	+ 0,11	+ 0,80	+ 0,01
März	— 0,08	+ 1,09	— 0,24
April	0,00	+ 0,16	— 0,26
Mai	— 0,10	+ 0,34	+ 0,04
Juni	— 0,48	+ 0,50	— 0,35
Juli	— 0,49	— 0,09	— 0,08
August	— 0,27	+ 0,40	— 0,18
September	— 0,11	+ 0,90	— 0,80
October	— 0,42	+ 0,30	+ 0,54
November	— 0,17	+ 0,20	— 0,05
December	— 0,16	+ 0,58	— 0,20
Mittel	— 0,19	+ 0,48	— 0,14

Es findet also an der Thermometerkugel eine fast vollständige Reflexion der Sonnenstrahlen statt.

Ganz andere Resultate erhält man freilich, wenn man das Thermometer an einer von den Sonnenstrahlen beschienenen Wand aufhängt oder es dicht über nacktem, von der Sonne beschienenem Sandboden anbringt. Unter solchen Umständen kann das Thermometer bis auf 50° C. und darüber steigen, es ist dies aber die Temperatur der Wand oder des Bodens, welche die Wärmestrahlen der Sonne stark absorbiren.

Einen recht guten Werth für die Lufttemperatur erhält man durch die sogenannten Schleuderthermometer, d. h. Thermometer, welche mit dem oberen Ende an einer Schnur befestigt und vor dem Ablesen in rasche schleudernde Bewegung versetzt werden. Selbstverständlich muss aber die Ablesung an einem beschatteten Platze geschehen, damit keine störende Wärmestrahlung seitens der Umgebung auf den Stand des Thermometers einwirkt. Die Zuverlässigkeit der Ablesung wird hier dadurch bewirkt, dass das Thermometer innerhalb kurzer Zeit mit sehr vielen Lufttheilchen in Berührung kommt.

Maximum- und Minimum-Thermometer. Es ist für die 171
Meteorologie vielfach von Wichtigkeit, die höchste und niedrigste Temperatur zu kennen, welche innerhalb einer gegebenen Zeit, etwa innerhalb 24 Stunden geherrscht hat. Wollte man die Temperaturextreme eines Tages durch Beobachtung gewöhnlicher Thermometer ermitteln, so müsste man die Temperatur immer sehr häufig, mindestens alle Stunde beobachten, ein äusserst mühsames und zeitraubendes und deshalb für die

Dauer nicht durchführbares Geschäft. Man hat deshalb vielfach versucht, Instrumente zu construiren, welche gestatten, das Maximum und Minimum der Temperatur abzulesen, welche zwischen zwei auf einander folgenden Beobachtungsterminen stattgefunden hat. Wir wollen einige derselben näher betrachten.

Rutherford's schon 1794 construirter Thermometrograph ist in Fig. 279 abgebildet. Er besteht aus zwei Thermometern, deren Röhren wagerecht liegen, und von denen das eine ein Quecksilberthermometer, das andere ein Weingeistthermometer ist. In der Röhre des Quecksilberthermometers liegt ein Stahlstiftchen, welches durch die Quecksilbersäule fortgeschoben wird, wenn sich das Quecksilber in der Kugel dieses Thermometers ausdehnt; wenn nun aber das Thermometer erkaltet, so zieht sich die Quecksilbersäule wieder zurück, das Stahlstäbchen aber bleibt an der Stelle liegen, bis zu welcher es bei dem höchsten Stande des Thermometers geschoben worden war; ein solches Thermometer giebt also das Maximum der Temperatur an, welches innerhalb einer gewissen Periode geherrscht hat.

In der Röhre des Weingeistthermometers liegt ein ganz feines Glasstäbchen, welches an beiden Enden etwas dicker ist, wie man Fig. 279

Fig. 279.



deutlich sieht; das Glasstäbchen liegt noch in dem Weingeistsäulchen, und wenn der Weingeist in der Kugel erkaltet und sich die Weingeistsäule in der Röhre bis an das erste Knöpfchen des Glasstäbchens zurückgezogen hat, so wird bei fernerem Sinken der Temperatur das Glasstäbchen in Folge der Adhäsion zwischen Weingeist und Glas von der noch weiter sich zurückziehenden Weingeistsäule mitgenommen; wenn aber die Flüssigkeit in der Kugel wieder erwärmt wird, so geht beim Steigen des Thermometers die Flüssigkeit an dem Stäbchen vorbei, ohne es fortzuschieben; das Stäbchen, welches von dunkelfarbigem Glase gemacht sein muss, damit man es deutlich sehen kann, bleibt also an der Stelle liegen, welche dem Minimum der Temperatur entspricht, die innerhalb eines gewissen Zeitraumes herrschte.

Während die Kugel des einen Thermometers auf der rechten Seite liegt, liegt die des anderen links; wenn man nun den ganzen Apparat etwas nach der linken Seite neigt und leise daran stösst, so fällt das

Stahlstäbchen durch sein Gewicht bis auf die Quecksilbersäule, das Glasstäbchen aber bis an das Ende der Weingeistsäule. Wenn man das so vorgerichtete und wieder horizontal gestellte Instrument stehen lässt, so wird bei jedem Steigen der Temperatur das Stahlstäbchen fortgeschoben, das Glasstäbchen aber bei jedem Sinken der Temperatur zurückgezogen.

Dieses Instrument ist besonders geeignet, um das Maximum und Minimum der täglichen Temperatur anzugeben. Wenn man es etwa jeden Morgen in Stand setzt, so kann man den folgenden Morgen ablesen, welches die höchste und welches die niedrigste Temperatur während der letzten 24 Stunden war.

Fig. 280.

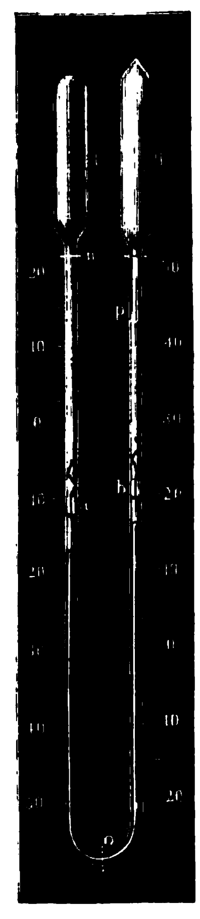
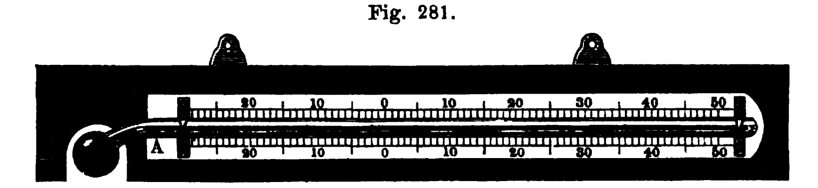


Fig. 280 stellt das von Bellani und Bunten verbesserte Six'sche Maximum- und Minimum-Thermometer dar. An das Thermometergefäss *d* setzt sich die etwas weite heberförmig gebogene Röhre *nop* an, welche auf der anderen Seite mit dem Gefässe *q* endigt. Der untere Theil der umgebogenen Röhre enthält Quecksilber. Das Gefäss *d* und der linke Schenkel der heberförmig gebogenen Röhre bis auf das Quecksilber herab ist mit Weingeist gefüllt, wie denn auch in dem Schenkel rechts auf dem Quecksilber wieder eine Weingeistsäule aufsitzt. Das oben zugeschmolzene Gefäss *q* enthält Luft. Jeder Schenkel der Röhre enthält in dem mit Weingeist gefüllten Theile einen Index, welcher aus einem kurzen Emailröhrchen besteht, in welches ein schwach federndes Stahldrähtchen eingeschmolzen ist. Um das Instrument in Stand zu setzen, werden die Indices mittelst eines von aussen an die Röhre gehaltenen Magnetstäbchens bis auf den Gipfel der Quecksilbersäule herabgezogen. Steigt nun die Temperatur, so wird der Index *b* in die Höhe geschoben, während *a* wegen der Reibung des Drahtes an seiner Stelle stehen bleibt und den Weingeist an seinem Umfang vorbeigehen lässt. Sobald die Temperatur wieder zu sinken beginnt, bleibt *b* stehen, während *a* in die Höhe geschoben wird, sobald das Quecksilber im Schenkel links den Index *a* erreicht hat und nun die Temperatur noch zu sinken fortfährt. Der Index *a* giebt also das Minimum, *b* giebt das Maximum der Temperatur während der letzten 24 Stunden an, wenn das Instrument jeden Morgen beobachtet und die Indices wieder auf das Quecksilber herabgezogen werden.

Das Rutherford'sche Instrument kommt ebenso wie das Six'sche leicht in Unordnung, und zwar das erstere hauptsächlich deswegen, weil

der in der Röhre des Maximum-Thermometers befindliche Stahlstift beim Steigen der Quecksilbersäule bisweilen nicht vorwärts geschoben wird, sondern liegen bleibt, so dass das Quecksilber über ihn hinwegströmt. Es ist dann immer schwierig, den Stift wieder aus dem Quecksilber zu entfernen, und deshalb hat man versucht, den Stahlstift ganz zu vermeiden, und Vorrichtungen zu treffen, durch welche bewirkt wird, dass der Quecksilberfaden selbst beim Sinken der Temperatur liegen bleibt und somit die Maximal-Temperatur anzeigt. Dies hat man dadurch erreicht, dass man entweder in der Nähe der Quecksilberkugel (bei *A*, Fig. 281) einen Glassplitter inwendig im Rohre mit dem Löthrohre festschmilzt, wodurch eine starke Verengung des Rohres bewirkt wird, oder dass man an einer Stelle den Quecksilberfaden durch ein kleines Luftbläschen in zwei Theile trennt. In beiden Fällen wird der Quecksilberfaden beim Steigen der Temperatur vorwärts geschoben, bleibt aber liegen, wenn die Temperatur zurückgeht. Die zweite Einrichtung ist weniger vollkommen als die erste, weil bei continuirlicher Temperatursteigerung der Quecksilberfaden nicht continuirlich, sondern sprungweise vorgeht. Die Luftblase muss nämlich immer erst bis auf einen gewissen Grad zusammengepresst werden, ehe durch ihre Elasticität die Reibung

Fig. 281.



zwischen dem Quecksilberfaden und dem Glasrohre überwunden ist; ist aber der Faden erst in Bewegung gekommen, so gehört eine etwas geringere Kraft dazu, ihn vorwärts zu treiben; er schnellt daher ein kleines Stück vorwärts und bleibt darauf liegen, worauf die Luftblase erst wieder zusammengedrückt werden muss, um ihn in Bewegung zu setzen.

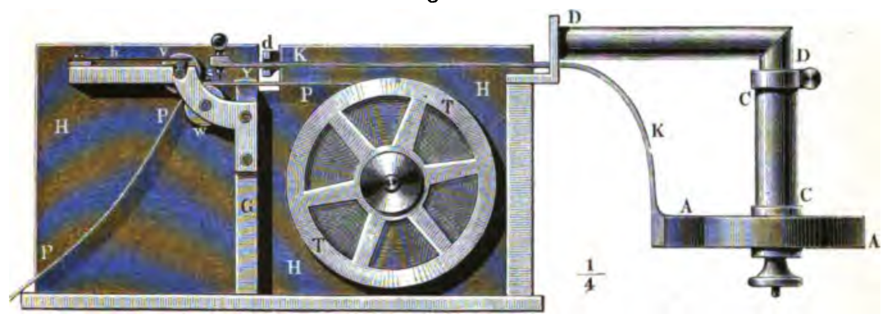
In dem Gehäuse, Fig. 277, ist ausser zwei Quecksilberthermometern (die Kugel des einen ist aus später zu besprechenden Gründen mit einem Läppchen von Mousselin umwickelt) auch noch ein Maximum- und Minimum-Thermometer in der eben besprochenen Art, bisweilen auch noch ein H a a r h y g r o m e t e r angebracht.

172 **Die registrirenden Instrumente.** Während es für die Mehrzahl der meteorologischen Stationen vollkommen genügend ist, wenn der Stand der Instrumente d r e i m a l täglich beobachtet und notirt wird, so ist es doch höchst wünschenswerth, die Beobachtungen eines grösseren Rayons durch die fortlaufenden Aufzeichnungen einer C e n t r a l s t a t i o n gewissermaassen zu vervollständigen und so für die Wissenschaft nutz-

bringender zu machen. Zur Ausführung solcher fortlaufender Aufzeichnungen hat man nun die selbstregistrirenden Instrumente construirt.

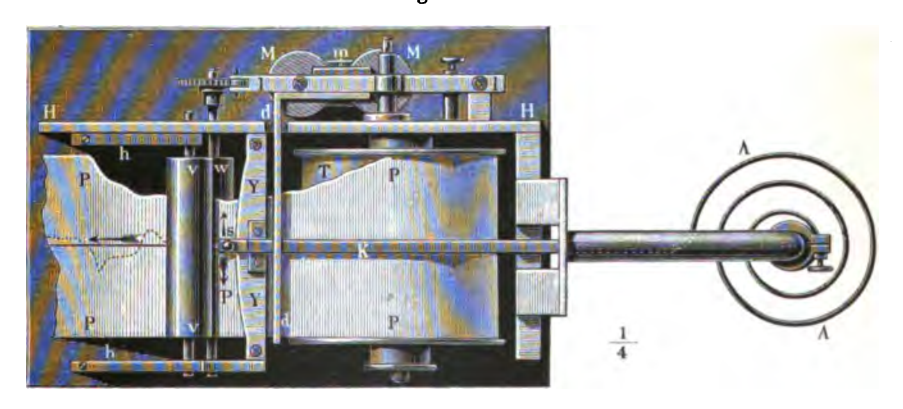
Die älteste Methode solcher Aufzeichnungen bestand darin, den Zeiger des entsprechend zu construirenden Instrumentes mit einem


Fig. 282.



Bleistift zu versehen, welcher auf einem durch ein Uhrwerk mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortgeführten Papierstreifen eine Curve zeichnete, deren Abscissen der Zeit, deren Ordinaten aber dem jeweiligen Stande des Instrumentes entsprechen. Diese Methode, welche z. B. bei den Kreil'schen Registrirapparaten Verwendung gefunden hat, leidet an dem Uebelstande, dass bei manchen Instrumenten die Empfindlichkeit

Fig. 283.



derselben durch die Reibung des Bleistiftes auf dem Papier allzu sehr beeinträchtigt wird.

Lamont (Beschreibung der auf der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate, 1851) ersetzte den Papierstreifen durch eine um ihre Axe gedrehte Walze, deren Umfang durch Russ geschwärzt ist, den Bleistift aber durch einen Stahlstift.

Hipp änderte die ursprüngliche Methode dahin ab, dass er den Bleistift durch eine Nadelspitze ersetzte, welche nur von Zeit zu Zeit, etwa alle 10 Minuten, momentan in das unterliegende Papier eingedrückt wird, die übrige Zeit hindurch aber nicht mit demselben in Berührung bleibt. Fig. 282 u. Fig. 283 (a. v. S.) stellen ein Hipp'sches Registrir-Thermometer dar, wie es Wild von Hasler in Bern für die Berner Sternwarte ausführen liess, und wie es zum Theil auf den deutschen Stationen der Seewarte angewandt wird.

Der thermometrische Apparat ist ein Metallthermometer, und besteht aus einer Spirale *A* (Fig. 283), welche aus zwei auf einander gelötheten Metallen, Stahl und Messing, zusammengesetzt ist. Das innere Ende der Spirale ist unverrückbar am unteren Ende der Messingröhre *C* (Fig. 282) befestigt, welche über den verticalen Theil eines ebenfalls röhrenförmigen Messingwinkels *DD* geschoben ist und mit einer Zwinge daran festgeklemmt werden kann. Die Messingröhre *D* ist an dem Gestelle des Schreibapparates in einer Weise befestigt, wie man sie aus den Figuren 282 und 283 deutlich ersehen kann. Es muss hier nur noch bemerkt werden, dass, der Raumersparniss wegen, der horizontale Theil der Röhre *D* verhältnissmässig zu kurz und die Spirale *A* zu klein gezeichnet ist. Der horizontale Theil von *D* ist 184 mm lang und der Durchmesser der Spirale beträgt 112 mm.

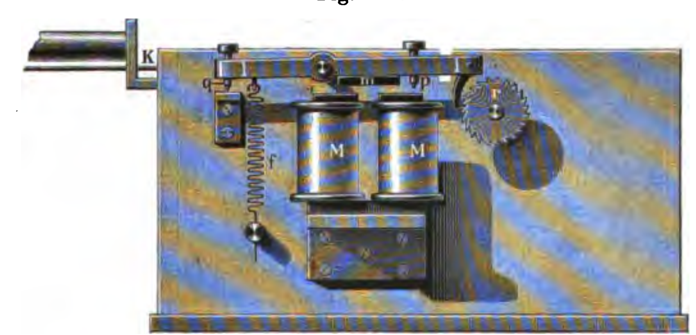
Am äusseren Ende der thermometrischen Spirale ist ein leichter, zuerst nach oben gehender, dann horizontal umgebogener Messingzeiger *KK* angenietet. In das freie Ende dieses Zeigers ist ein Stahlstift eingesetzt, welcher unten eine Nadelspitze *s* trägt. Wenn es wärmer wird, wickelt sich die Spirale *A* etwas auf, die Spitze *s* wird also in der Richtung des ungefiederten Pfeilchens hin bewegt, während sie in der Richtung des gefiederten Pfeilchens verschoben wird, wenn die Temperatur sinkt.

Nahe an seinem Ende geht nun der Zeiger *K* durch einen horizontalen Schlitz des Messingstäbchens *d*, so dass also durch ein Niederdrücken von *d* die Spitze *s* in den darunter befindlichen Papierstreifen *P* eingedrückt wird. Dieser Papierstreifen kommt von einer Trommel *T*, auf welcher er aufgewickelt ist, und welche um eine horizontale, auf der Rückwand *H* des Schreibapparates befestigte Axe leicht gedreht werden kann. Von dieser Trommel geht der Papierstreifen *P* zunächst unter dem Messingstäbchen *d* her durch einen feinen Schlitz, welcher zwischen der oberen Fläche der verticalen Messingwand *G* und der darüber angebrachten Messingplatte *Y* frei geblieben ist. Aus diesem Schlitz heraustretend gelangt dann der Papierstreifen unter der Spitze *s* hinweg zwischen zwei Walzen *v* und *w*, welche beide um horizontale Axen drehbar sind und von denen die obere *v* durch die Federn *h* leicht gegen die andere angedrückt wird. Sobald nun die eine dieser Walzen in entsprechender Richtung gedreht wird, so wird der Papierstreifen in der Richtung des grösseren Pfeiles fortgezogen. Um die Walze *w* wenigstens

zum Theil sich sichtbar zn machen, erscheint in Fig. 283 ein Stück aus dem Papierstreifen P herausgerissen.

Der Gang des Apparates ist folgender: Alle 10 Minuten wird der Strom einer Säule von drei bis sechs grossen 35 cm hohen, mit einer Lösung von Kochsalz und Alaun gefüllten Zink-Kohlenbechern durch Vermittelung einer guten Pendeluhr geschlossen und durch die Windungen eines Elektromagnets M hindurchgesandt, welcher auf der Rückseite der Messingwand H befestigt und dessen Ansicht in Fig. 284 gegeben ist (in dieser Figur ist nur der Anfang der Röhre D dargestellt, die thermometrische Spirale, welche er trägt, ist aber weggelassen). Sobald der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt wird, wird der Anker m an- und dadurch die rechte Seite (Fig. 284) des Hebels l niedergezogen, wodurch auch das Niederdrücken des Messingstäbchens d, Fig. 282, bewerkstelligt wird, welches mittelst eines rechtwinklig gebogenen Stückes am Hebel l befestigt ist. Das Niederdrücken des Stäbchens d bewirkt

Fig. 284.



alsdann das Eindrücken der Spitze s in das Papier, also die Markirung eines Punktes.

Mit dem Niedergang der rechten Seite des Hebels l wird auch der hier leicht beweglich eingehängte Stahlhaken so weit hinabbewegt, dass er aus der Lücke des Zahnrades r, in welcher er bisher sass, herausgeschoben wird und in die folgende Zahnlücke einfällt. Wenn nun nach ganz kurz dauernder Schliessung der Strom wieder unterbrochen wird, der Elektromagnet also seinen Magnetismus wieder verliert, so wird die linke Seite des Hebels l durch die Feder f niedergezogen und dadurch das Rad r um einen Zahn weitergeschoben. Das Zahnrad r ist aber auf der Axe der Walze w befestigt, so dass dieselbe also jedesmal bei der Unterbrechung des Stromes um einen Winkel gedreht wird, welcher der Breite eines Zahnes des Rades r entspricht. Durch diese Drehung der Walze w, Fig. 283, wird aber auch der Papierstreifen P um eine entsprechende Grösse vorgeschoben und ihm die Stellung gegeben, in welcher er bis zur Markirung des nächsten Punktes verharrt.

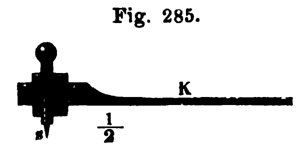
Die Bewegung des Hebels l ist einerseits durch die Schraube p, andererseits durch die Schraube q begrenzt.

Das Drehen der Walze w, also das Fortziehen des Papierstreifens P, erfolgt bereits, ehe die Nadel s ganz aus dem von ihr im Papier gemachten Loch zurückgezogen ist, sie würde also entweder die Bewegung des Papiers hemmen oder einen Riss in dasselbe machen, wenn dergleichen nicht durch eine besondere Vorrichtung verhindert würde. Die Spitze s ist nämlich nicht unmittelbar fest in das Ende des Zeigers K, sondern in ein Messingklötzchen eingesetzt, welches um die horizontale Axe b, Fig. 285, leicht drehbar, in eine verticale rectanguläre Höhlung nahe am Ende des Zeigers K eingelassen ist. Wenn K nicht niedergedrückt ist, so nimmt das Messingklötzchen die in Fig. 285 verzeichnete Stellung ein, indem es durch sein Uebergewicht leicht gegen die verticale Wand der Höhlung angedrückt wird, welche die Oeffnung nach der rechten Seite (der Figur) hin begrenzt; ist aber die Spitze in das Papier eingestochen und wird dasselbe dann ein wenig nach links gezogen, so kann die Spitze mit dem Klötzchen leicht folgen, ohne das Papier zu zerreissen, weil eine kleine Drehung um den Zapfen b stattfinden kann.

Zum Schutz gegen Staub u. s. w. ist der ganze Apparat mit Ausnahme der Spirale und ihres Trägers von einem zerlegbaren Gehäuse von Glas und Holz umgeben.

Um aus den markirten Punkten auf die ihnen entsprechende Temperatur schliessen zu können, muss man ihren Abstand von einer bestimmten Abscissenlinie messen können, und eine solche wird durch den Apparat selbst ungefähr in der Mitte des Papierstreifens parallel mit seinen Rändern gezogen. Es geschieht dies durch ein kleines, in unseren Zeichnungen nicht sichtbares Röllchen mit scharfem Rande, welches in einem auf der Mitte der Messinglamelle Y aufgesetzten Metallstück angebracht ist und welchem eine kleine Vertiefung in der Unterlage entspricht.

Fig. 285.



Dieses, wie alle Metallthermometer, hat den Nachtheil, dass sein Nullpunkt sich sehr leicht verändert; es ist daher nothwendig, fortwährend die Richtigkeit seiner Angaben zu controliren. Zu diesem Zwecke bringt man in der Nähe der Spirale A (Fig. 283) ein sorgfältig untersuchtes Thermometer, sowie ein zuverlässiges Maximum- und Minimum-Thermometer an, welche letzteren jeden Morgen beim Abnehmen des Papierstreifens PP (Fig. 283) abgelesen und neu eingestellt werden. Die Ablesungen an dem gewöhnlichen Thermometer werden zu passenden Tagesstunden gemacht, an welchen sich die Temperatur wenig ändert. Aus zwei bei möglichst verschiedenen Temperaturen angestellten Vergleichungen ersieht man, welcher Temperaturänderung je 1 mm der Ordinatenlängen entspricht. Durch die Ablesungen der bei dem Appa-

rate angebrachten Thermometer erhält man für die Zeiten dieser Ablesungen verschiedene Werthe der Nulllinie und muss für die Zwischenzeiten ihre Werthe interpoliren. Als Beispiel der Reduction einer solchen Aufzeichnung mögen folgende Zahlen dienen, bei denen zu bemerken ist, dass einer Bewegung des Zeigers von 1 mm eine Aenderung der Temperatur von 0,5° C. entsprach.

Stunde 1878 Decembr. 22. bis 23.	Phase	Ordinate d. Thermogrammes ζ mm	$0,5 \cdot \zeta$	Direct abgelesene Temperatur	Werth der Nulllinie	Abgeleitete Temperatur
10 U. Vm.		+ 12,00	+ 6,00°	+ 0,1°	**— 5,90°**	+ 0,1°
11		10,32	5,16		— 5,88	— 0,7
12		11,59	5,80		— 5,87	— 0,1
1 U. Nm.		11,90	5,95		— 5,85	+ 0,1
2		12,64	6,32		— 5,84	+ 0,5
2 U. 30 M.	Maximum	13,24	6,62	+ 0,8	**— 5,82**	+ 0,8
3		12,80	6,40		— 5,81	+ 0,6
4		12,52	6,26		— 5,80	+ 0,5
5		12,68	6,34		— 5,79	+ 0,6
6		12,18	6,09		— 5,78	+ 0,3
7		11,50	5,75		— 5,77	0,0
8		12,10	6,05	+ 0,3	**— 5,75**	+ 0,3
9		11,71	5,86		— 5,74	+ 0,1
10		10,24	5,12		— 5,73	— 0,6
11		9,28	4,64		— 5,72	— 1,1
12		9,25	4,62		— 5,71	— 1,1
1 U. Vm.	Minimum	8,60	4,30	— 1,4	**— 5,70**	— 1,4
2		8,88	4,44		— 5,71	— 1,3
3		9,60	4,80		— 5,72	— 0,9
4		8,95	4,48		— 5,73	— 1,2
5		9,62	4,81		— 5,74	— 0,9
6		9,47	4,74		— 5,75	— 1,0
7		9,30	4,65		— 5,76	— 1,1
8		8,80	4,40		— 5,78	— 1,4
9		8,70	4,35		— 5,80	— 1,4
9 U. 20 M.		9,62	4,81	— 1,0	**— 5,81**	— 1,0

In der vorletzten Columne sind die fett gedruckten Zahlen direct aus den Ablesungen der Thermometer abgeleitet, die anderen dagegen

interpolirt. Durch Verstellung der Spirale kann man die Lage der Mittellinie gegen die Punktenreihe verrücken, also den Werth von ζ verändern. — Fig. 286 ist das Facsimile der Temperaturcurve, welche ein derartiger Apparat zu Bern am 25. Juli 1861 (bürgerliche Zeit) von Mitternacht bis Mitternacht geschrieben hat. Von den geraden Linien dieser Figur ist nur die Mittellinie, welche in diesem Falle fast ganz genau der Temperatur von 15° C. entsprach, durch den Apparat selbst gezogen, die übrigen geraden Linien sowie die Zahlen sind nachträglich eingezeichnet.

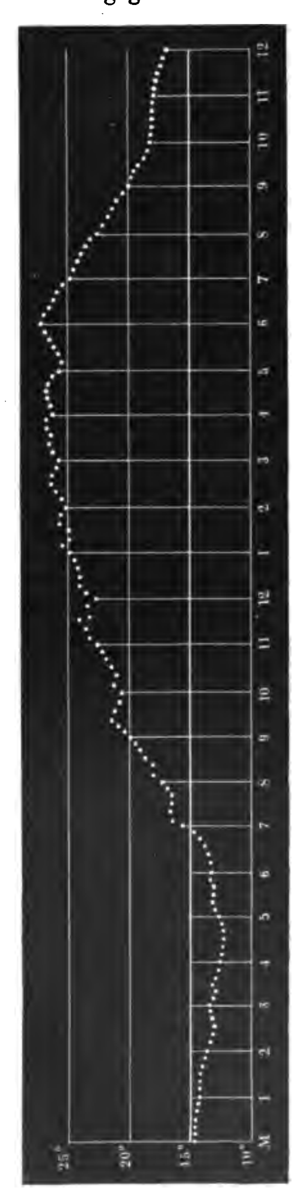


Fig. 286.

Nach ähnlichen Principien hat man nun auch selbstregistrirende Barometer, Regenmesser, Hygrometer und Apparate construirt, welche die Richtung und die Stärke des Windes notiren. Die Beschreibung der genannten Apparate, wie dieselben auf der Sternwarte zu Bern aufgestellt sind, hat Wild in dem zweiten Bande von Carl's Repertorium veröffentlicht. Wir werden theilweise noch auf diese Instrumente zurückkommen.

Von ganz besonderem Werthe für die Wissenschaft würden solche selbstregistrirende Instrumente sein, welche mehrere Monate lang fortgehen, ohne eines Nachsehens zu bedürfen, weil sie, an unbewohnten und unbewohnbaren Orten aufgestellt, Auskunft über meteorologische Fragen geben könnten, die auf keinem anderen Wege zu erhalten sind. Bis jetzt hat man sich darauf beschränkt, auf einigen während des Winters unzugänglichen Bergen Thermometrographen einfacherer Construction anzubringen, an denen die höchste und niedrigste Wintertemperatur nachträglich abgelesen werden konnte.

173 **Die täglichen Variationen der Lufttemperatur.** Nachdem wir nun die Hülfsmittel kennen gelernt haben, deren man bedarf,

um die Lufttemperatur an einem gegebenen Orte und zu bestimmten Zeiten zu ermitteln, wollen wir uns jetzt zur Betrachtung der Resultate wenden, welche man mit Hülfe dieser Instrumente erlangt hat. Wenden wir uns zunächst zur Betrachtung der täglichen Variationen.

Um zu erforschen, nach welchen Gesetzen die Temperatur der unteren Luftschichten im Laufe eines Tages sich ändert, muss das Thermometer in regelmässigen, möglichst kurzen Zeitintervallen abgelesen werden, und zwar sind zu diesem Zwecke mindestens stündliche Beobachtungen nöthig, d. h. das Thermometer muss bei Tag und bei Nacht von Stunde zu Stunde abgelesen werden. Die älteste derartige Beobachtungsreihe ist die, welche Chiminello zu Padua während eines Zeitraumes von 16 Monaten machte. Später wurde eine ähnliche Beobachtungsreihe auf Brewster's Veranlassung auf dem Forth Leith bei Edinburg angestellt, welcher dann bald noch weitere derartige Beobachtungsreihen folgten, unter denen wir die zu Halle, Göttingen, München, Kremsmünster, Prag, Brüssel, Greenwich, Apenrade, Rom, der karischen Pforte, Petersburg, Nertschinsk, Barnaul, Bombay, Madras, Rio-Janeiro, Frankfort-Arsenal bei Philadelphia, Insel Melville hervorheben.

Gegenwärtig ist die äusserst mühsame und zeitraubende Arbeit stündlicher Beobachtungen, welche ohne Zusammenwirken mehrerer Personen gar nicht ausführbar ist, an vielen Hauptstationen durch die Aufstellung registrirender Instrumente, welche den Gang der Temperatur noch weit besser darstellen, überflüssig geworden.

Wenn man die stündlichen Beobachtungen oder die Aufzeichnungen registrirender Instrumente einzelner Tage betrachtet, so findet man, dass der Gang der Temperatur keineswegs ein so regelmässiger ist, wie man nach §. 167 vermuthen könnte; er ist vielmehr ein ziemlich regelloser und von einem Tage zum anderen oft wechselnder.

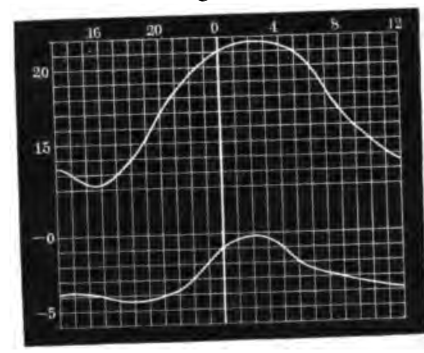
Solche Anomalien und Differenzen lassen sich leicht erklären, wenn man bedenkt, dass der Gang der Temperatur allerdings von der Stellung der Sonne gegen den Horizont abhängt, dass aber die Wirkung der Sonnenstrahlen wesentlich durch die Windrichtung, den Bewölkungszustand des Himmels u. s. w. modificirt wird. Deshalb tritt denn auch der normale Gang der täglichen Temperaturschwankungen nicht immer unmittelbar in die Erscheinung, sondern er kann nur als Mittel aus grösseren Beobachtungsreihen dargestellt werden.

Nimmt man aus allen während der Jahre 1848 bis 1880 im Juli zu München morgens um 4 Uhr gemachten Beobachtungen das Mittel, so erhält man 12,5°. Ebenso ergiebt sich für 6 Uhr im Juli die mittlere Temperatur 14,4°, für 8 Uhr 17,6°, für Mittag 21,2° u. s. w. Die oberste Curve in Fig. 287 (a. f. S.) stellt den normalen Gang der täglichen Temperaturschwankungen zu München im Laufe des Monats Juli dar, wie er sich aus den auf die angegebene Weise erhaltenen Mittel-

zahlen ergiebt; die unmittelbar darunter befindliche Curve hat die gleiche Bedeutung für den Monat Januar.

Im Durchschnitt steigt also zu München im Juli die Temperatur von 4 Uhr Morgens an (16^h astronomische Zeit, kurz vor Sonnenaufgang) bis $2^3/_4$ Uhr Nachmittags, um dann bis zum nächsten Sonnenaufgang abzunehmen.

Fig. 287.



Das Minimum der Temperatur findet also ungefähr zur Zeit des Sonnenaufgangs, das Maximum ungefähr um $2^3/_4$ Uhr Nachmittags statt.

Die Differenz des täglichen Maximums und Minimums beträgt im Juli im Mittel 9,4°.

Im Januar ist der normale Gang der täglichen Wärmeschwankungen ein ganz anderer. Das Minimum der Wärme findet gleichfalls ungefähr zur Zeit des Sonnenaufganges statt, welcher aber jetzt auf eine weit spätere Stunde fällt, das Maximum ungefähr um $1^1/_2$ Uhr Nachmittags. Das tägliche Maximum ist aber im Durchschnitt nur um 4,1° höher als das tägliche Minimum.

	Südgeorgien	Rio-Janeiro	Bombay	Madrid	Bern	München	Oxford	Stettin	Kopenhagen	Moskau	Petersburg	Kingua-Fjord
Januar . . .	5,0°	3,2°	4,4°	7,2°	4,2°	4,1°	2,1°	1,8°	1,0°	1,7°	1,3°	6,5°
Februar . . .	6,0	3,5	4,0	9,6	6,7	5,4	2,9	2,9	2,2	3,4	2,7	6,5
März	4,8	3,4	3,2	9,7	5,7	6,9	4,9	4,6	3,4	4,6	4,9	10,3
April	4,6	3,1	2,9	11,7	8,6	8,6	7,0	7,0	4,7	5,2	5,7	9,1
Mai	5,1	3,4	2,6	11,6	9,2	9,0	8,0	8,8	6,0	6,9	7,1	7,8
Juni	4,7	3,5	2,5	13,1	8,8	9,2	7,8	7,6	6,0	7,3	6,5	5,8
Juli	5,6	4,1	1,5	14,5	9,4	9,4	8,3	7,6	5,9	7,5	6,2	6,3
August . . .	5,9	3,4	1,9	14,0	8,4	9,1	7,7	8,2	5,6	7,2	6,2	6,3
September . .	5,7	2,9	2,2	12,2	9,2	8,7	6,7	6,8	4,4	5,8	4,0	5,2
October . . .	5,3	2,6	3,4	9,6	5,5	7,8	4,7	4,3	2,7	4,3	2,7	6,2
November . .	5,2	3.1	4,0	8,6	4,3	4,0	3,0	2,1	1,4	2,0	1,3	9,0
December . .	5.2	3,2	4,9	6,0	3,4	3,4	2,0	2,0	0,9	1,2	0,8	7,6

Die Grösse der mittleren täglichen Temperaturveränderung ist, wie wir bereits gesehen haben, nicht für alle Monate dieselbe; sie beträgt zu München im Januar 4,1°, im Juli 9,4°. Ebenso ist die Grösse dieser mittleren täglichen Veränderung an verschiedenen Orten nicht dieselbe, wie man aus vorstehender Tabelle ersieht, welche diese Grösse für verschiedene Orte und für die zwölf Monate des Jahres angiebt.

Es sind dies die mittleren Differenzen zwischen dem Maximum und Minimum desselben Tages. An einzelnen Tagen ist diese Differenz weit grösser, an anderen wieder bedeutend kleiner. Die folgende Tabelle enthält die grösste und die kleinste Differenz zwischen dem Maximum und Minimum desselben Tages, welche während einiger Jahre zu Frankfurt a. M. in den einzelnen Monaten beobachtet worden ist.

	Grösste Differenz			Kleinste Differenz		
	1844	1845	1846	1844	1845	1846
Januar	7,9°	7,0°	9,0°	1,2°	0,2°	0,9°
Februar	11,4	13,5	10,6	2,6	1,5	0,9
März	11,0	12,1	15,8	2,6	2,1	1,9
April	16,1	14,8	13,8	2,9	2,9	3,8
Mai	15,1	14,6	17,4	3,2	4,0	3,8
Juni	17,0	15,0	15,0	6,2	3,9	3,1
Juli	13,6	16,1	17,8	3,6	2,0	1,0
August	15,4	15,2	14,0	2,4	2,6	0,8
September	15,2	14,8	16,6	3,4	3,2	2,4
October	11,6	10,1	11,9	2,6	2,7	2,1
November	7,1	9,5	8,5	0,6	2,5	4,8
December	9,4	10,0	11,4	0,4	0,2	4,4

Mittlere Temperatur der Tage, der Monate und des 174
Jahres. Nimmt man aus den 24 im Laufe eines Tages gemachten Temperaturbeobachtungen das Mittel, so erhält man mit grosser Annäherung die mittlere Temperatur des Tages.

In vielen Fällen wird man aber nicht stündliche Beobachtungen zur Verfügung haben, und die Erfahrung hat gezeigt, dass man auch aus wenigen Beobachtungen, wenn sie in passender Weise combinirt werden einen sehr genäherten Werth für das Tagesmittel erhalten kann. Schon aus einer einmaligen Ablesung am Tage erhält man, wenn ein Maximum- und ein Minimumthermometer abgelesen wird, aus dem Mittel der Angaben dieser beiden Instrumente einen in der Regel nicht sehr unrichtigen Werth für das Tagesmittel. Einige andere Combinationen sind folgende, wobei die Zeit der Ablesung in Stunden mit der Bezeichnung *a* (Vormittags) oder *p* (Nachmittags) angegeben ist. Es bezeichnet also z. B.

$^1/_2(8a + 8p)$ das arithmetische Mittel zwischen den 8 Uhr Morgens und 8 Uhr Abends abgelesenen Temperaturen:

1. $^1/_2\,(8a + 8p)$
2. $^1/_3\,(6a + 2p + 10p)$
3. $^1/_3\,(7a + 1p + 9p)$
4. $^1/_3\,(7a + 2p + 9p)$
5. $^1/_4\,(7a + 2p + 2 \times 9p)$
6. $^1/_4\,(8a + 2p + 8p + \text{Min.})$
7. $^1/_4\,(8a + \text{Max.} + 8p + \text{Min.})$
8. $^1/_2\left(\frac{8a + 8p}{2} + \frac{8a + 2p + 8p}{3}\right)$

Bei den Stationen des preussischen meteorologischen Institutes werden die Ablesungen 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends gemacht; das Tagesmittel der Temperatur ergiebt sich dann sehr genähert aus der Combination 5. Auf den Stationen der Deutschen Seewarte geschieht die Ablesung 8 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 8 Uhr Abends, und es werden dann zweckmässiger Weise die Combinationen 7. und 8. angewandt, wobei indessen zu bemerken ist, dass in den Monaten Mai bis August die Combination 7., und in den Monaten September bis April die Combination 8. das zuverlässigere Resultat ergiebt. Für Stationen, an denen zahlreiche stündliche Beobachtungen vorliegen, kann man sich auf empirischem Wege Formeln ableiten, welche ein besseres Resultat ergeben als die oben erwähnten. Eine solche von Köppen vorgeschlagene und auf der Hamburger Seewarte neuerdings angewandte Formel für die mittlere Tagestemperatur ist folgende:

$$\frac{8a + 2p + 8p + \alpha.\text{Min.}}{3 + \alpha},$$

wo α das dem Minimum beizulegende, für jede Station besonders zu bestimmende und von Monat zu Monat wechselnde Gewicht bezeichnet.

Hat man auf diese Weise die mittlere Temperatur aller Tage eines Monats ermittelt, so erhält man die mittlere Temperatur des Monats, wenn man aus den 30 oder 31 Tagesmitteln wieder das Mittel nimmt.

Die aus sämmtlichen Tagen des Jahres gezogene Mittelzahl giebt dann die mittlere Temperatur des ganzen Jahres an.

Hat man für einen Ort die mittlere Temperatur der einzelnen Monate und des ganzen Jahres während eines längeren Zeitraumes ermittelt, so ergiebt sich das allgemeine Monatsmittel, wenn man die Mitteltemperaturen desselben Monats, wie man sie in den einzelnen Jahren erhalten hat, addirt und die erhaltene Summe durch die Zahl der Beobachtungsjahre dividirt. Auf diese Weise haben sich aus einer Reihe von 45 Beobachtungsjahren die allgemeinen Monatsmittel für Königsberg in folgender Weise ergeben:

	Mittlere Temperatur
Januar	— 3,41°
Februar	— 2,59
März	— 0,26
April	+ 5,46
Mai	+ 10,81
Juni	+ 15,40
Juli	+ 17,22
August	+ 16,53
September	+ 13,05
October	+ 7,67
November	+ 1,86
December	— 1,83
Jahresmittel . .	+ 6,68°

Das Mittel der sämmtlichen Monatsmittel, welches natürlich mit Rücksicht auf die Anzahl der Tage der einzelnen Monate zu berechnen ist, ergiebt das allgemeine Jahresmittel, welches für Königsberg + 6·68° C. ist.

Je länger die Beobachtungsreihen fortgesetzt sind, desto richtiger werden die aus ihnen berechneten allgemeinen Monats- und Jahresmittel.

Jahresisothermen. Wir haben nun den Weg kennen gelernt, 175 auf welchem man die allgemeinen Monatsmittel und das allgemeine Jahresmittel eines Ortes ermitteln kann. Entsprechende Beobachtungen sind nun nach und nach an vielen Orten aller Welttheile gemacht und die daraus sich ergebenden Mittelwerthe in Tabellen zusammengestellt worden. In neuerer Zeit ist eine sehr zuverlässige Zusammenstellung der mittleren Temperaturen für eine grosse Zahl von Orten in dem Werke von A. Woeikoff, Die Klimate der Erde, Jena 1887, gegeben, dem wir den grössten Theil der nachfolgenden Zahlen entnommen haben.

Aus dieser Tabelle ersieht man zunächst, dass Orte von gleicher geographischer Breite keineswegs auch gleiche mittlere Jahreswärme haben. Vergleichen wir in dieser Beziehung nur Nordamerika mit Europa, so tritt ein auffallender Unterschied hervor. New-York liegt noch etwas südlicher als Rom, und doch ist seine mittlere Jahreswärme um 4,5° C. geringer; die Stadt Christiania hat noch eine mittlere Jahreswärme von 5°, während zu Ramah auf der Küste Labrador, einem um einen Breitengrad südlicher gelegenen Orte, die mittlere Jahreswärme nur — 3,4° beträgt. Bei gleicher geographischer Breite ist es also an den genannten Orten in Nordamerika im Mittel bedeutend kälter als in Europa. Ein ähnliches Verhältniss stellt sich bei der Vergleichung von Europa mit dem nördlichen Asien heraus.

Eine klare Uebersicht über die Vertheilung der Wärme auf der Erde hat zuerst Humboldt durch seine isothermischen Linien mög-

Polarländer.

	Breite	Länge von Greenwich	Höhe über dem Meere m	Mittlere Jahres-temperatur °C.
Lady Franklin-Bay . . .	81° 44′ N.	65° W.	—	— 19,9
Nördl. v. Nowaja Semlja	78°—80°	59°—73° O.	0	— 15,8
Westküste v. „ „	72°—74°	53°—55°	—	— 7,0
Winterhafen	75°	111° W.	—	— 17,1
J. Sabine	74½°	18°	—	— 11,7
Point Barrow	71½°	156°	5	— 13,5

Nord-Amerika.

Boothia Felix	70 N.	95 W.	—	— 15,4
Kingua Fjord	66½	67	11	— 11,4
S. Michael, Alaska . . .	63½	162	—	— 3,6
Sitka, Alaska	57	135	4	+ 6,3
Ramah, Labrador . . .	59	63	5	— 3,4
Factorei York	57	93	—	— 5,6
Winnipeg	50	97	230	+ 0,4
Fort Vancouver	49½	124	15	+ 11,0
St. Johns	47½	52	47	+ 5,1
Quebec	47	71	91	+ 4,2
Breckinridge	46½	96	300	+ 3,8
St. Paul	45	93	244	+ 5,8
Burlington	44½	73	105	+ 6,8
Toronto	43½	79	104	+ 6,8
New-York	41	74	8	+ 11,0
Salzseestadt	41	112	1298	+ 11,1
Philadelphia	40	75	11	+ 11,6
Denver	39½	105	1606	+ 9,7
Pikes Peak	39	105	4314	— 7,1
San Francisco	38	122	46	+ 12,5
Fort Miller	37	120	122	+ 18,8
Fort Gibson	36	95	171	+ 15,8
Mohave, Arizona	35	115	184	+ 22,6
Charleston	33	80	6	+ 18,6
New-Orleans	30	90	7	+ 20,6

Mittel- und Süd-Amerika.

Mexiko	19½ N.	99 W.	2278	+ 16,3
Guatemala	14½	90	1480	+ 18,6
St. Anns, Trinidad . . .	11	62	—	+ 25,5
Caracas	10½	67	927	+ 21,8
Bogota	4½	74	2660	+ 14,4

	Breite	Länge von Greenwich	Höhe über dem Meere m	Mittlere Jahres-temperatur °C.
Antisana, Ecuador . . .	½° S.	78° W.	4060	+ 4,9
Iquitos	3½	73	95	+ 24,8
Cochabamba	17½	66	2208	+ 17,6
Arica	18½	70	—	+ 19,7
Rio Janeiro	23	43	—	+ 23,6
Villa Formosa	26	58	100	+ 22,3
Mendoza	33	68	780	+ 15,9
Santiago	33½	71	569	+ 13,1
Buenos Ayres	34½	58	22	+ 17,0
Valdivia	40	73	—	+ 12,0
Chubut	43½	65	30	+ 13,5
Falklands-Inseln	51½	58	—	+ 6,0
Süd-Georgien	54½	36	6	+ 1,4
Uschuia, Feuerland . . .	55	68	30	+ 5,4

Europa.

Wardö	70½° N.	31° O.	10	+ 0,6
Haparanda	66	24	10	+ 0,3
Archangelsk	64½	41	10	+ 0,4
Christiania	60	11	25	+ 5,1
Helsingfors	60	25	20	+ 3,9
Petersburg	60	30	10	+ 3,7
Dorpat	58½	27	700	+ 4,2
Mitau	56½	24	10	+ 6,4
Edinburg	56	3 W.	82	+ 8,4
Moskau	56	38 O.	160	+ 3,9
Kasan	56	49	80	+ 2,9
Kopenhagen	55½	13	13	+ 7,4
Kiel	54½	10	47	+ 7,4
Königsberg	54½	20	22	+ 6,7
Hamburg	53½	10	26	+ 8,2
Berlin	52½	13	48	+ 9,0
Valentia, Irland	52	10 W.	7	+ 10,8
Warschau	52	21 O.	120	+ 7,4
Orenburg	52	55	110	+ 3,3
Greenwich	51½	0	48	+ 10,3
Brocken	51½	11	1142	+ 2,4
Leipzig	51½	12	119	+ 8,5
Brüssel	51	4	57	+ 9,9
Giessen	50½	8	160	+ 8,5
Kiew	50½	31	180	+ 6,8
Prag	50	14	201	+ 8,8

	Breite	Länge von Greenwich	Höhe über dem Meere m	Mittlere Jahres-temperatur ^{0}C.
Pultawa	$49^1/_2{}^0$ N.	35^0 O.	140	+ 6,9
Brest	$48^1/_2$	4 W.	64	+11,7
Versailles	$48^1/_2$	2 O.	184	+10,5
Strassburg	$48^1/_2$	8	144	+10,2
Czernowitz	$48^1/_2$	26	257	+ 8,1
Zaryzin	$48^1/_2$	45	30	+ 6,9
München	48	12	530	+ 7,4
Wien	48	16	197	+ 9,1
Innsbruck	$47^1/_2$	11	600	+ 8,0
Budapest	$47^1/_2$	19	53	+10,0
Säntis	47	9	2467	— 2,2
Rigi	47	9	1785	+ 1,8
Nikolajew	47	52	20	+ 4,8
Klagenfurt	$46^1/_2$	14	440	+ 7,2
Odessa	$46^1/_2$	31	70	+ 9,4
Astrachan	$46^1/_2$	48	— 20	+ 9,4
Genf	46	6	408	+ 9,3
St. Bernhard	46	7	2478	— 1,8
Lyon	$45^1/_2$	5	175	+11,5
Mailand	$45^1/_2$	9	147	+12,5
Triest	$45^1/_2$	14	24	+14,0
Alessandria	45	9	98	+11,9
Simferopol	45	34	260	+10,1
Bukarest	$44^1/_2$	26	90	+10,6
Modena	44	11	64	+13,4
Perpignan	$43^1/_2$	3	31	+15,3
Montpellier	$43^1/_2$	4	60	+13,4
Nizza	$43^1/_2$	7	—	+15,7
Wladikawkas	43	45	680	+ 8,7
Rom	42	12	31	+15,5
Tiflis	$41^1/_2$	45	440	+12,6
Konstantinopel	41	29	2	+13,3
Madrid	$40^1/_2$	4 W.	655	+13,5
Lissabon	$38^1/_2$	9	102	+15,6
Palermo	38	13 O.	—	+17,6
Athen	38	24	—	+17,3

Afrika.

Algier	37^0 N.	3^0 O.	22	+18,1
Biskra, Sahara	35	6	125	+20,3
Funchal, Madeira	$32^1/_2$	17 W.	—	+18,8
Alexandrien	31	30 O.	19	+20,6
Kairo	30	36	33	+21,6

	Breite	Länge von Greenwich	Höhe über dem Meere m	Mittlere Jahres-temperatur °C.
San Louis	16° N.	18° O.	—	+ 23,2
Chartum	15½	33	388	+ 28,5
Massaua	15½	36	—	+ 31,4
Bakel	15	12	—	+ 28,7
Lado und Gondokoro . .	5	31	465	+ 26,7
Rubaga	0	33	1300	+ 21,4
Chinchoxo	5 S.	12	—	+ 24,4
Loanda	9	17	—	+ 23,1
Insel St. Helena	16	6	13	+ 21,3
Insel Mauritius	20	57	—	+ 25,1
Capstadt	34	18	12	+ 16,5

Asien.

Sagastyr	73½ N.	127° O.	5	— 17,1
Ustjansk	71	136	10	— 15,9
Werchojansk	67½	134	50	— 17,1
Turuchansk	66	88	20	— 7,7
Beresow	64	65	30	— 4,5
Jakutsk	62	130	160	— 11,1
Olekminsk	60	121	200	— 7,7
Narym	59½	80	60	— 2,1
Ochotsk	59½	143	10	— 5,1
Jenisseisk	58½	92	80	— 2,2
Tobolsk	58	68	50	— 0,1
Tomsk	56½	85	70	— 0,7
Krasnojarsk	56	93	170	+ 0,6
Minussinsk	54	91	300	+ 0,5
Barnaul	53½	83	140	+ 0,3
Nikolajewsk	53	141	20	— 2,7
Petropawlowsk	53	159	10	+ 2,3
Irkutsk	52½	104	460	0,0
Hüttenwerk Nertschinsk .	51½	120	660	— 3,7
Akmollinsk	51	71	310	+ 1,5
Semipalatinsk	50½	80	180	+ 2,4
Blagoweschtschensk . .	50	128	170	— 1,2
Irgis	48½	61	110	+ 4,8
Chabarowka	48½	135	—	+ 0,1
Urga	48	107	1150	— 2,7
Aniwa, Insel Sachalin .	46½	143	10	+ 3,1
Kuldscha	44	81	520	+ 9,2
Hafen St. Olga	43½	135	45	+ 4,2
Wjernyi	43½	77	730	+ 7,7
Wladiwostock	43	132	30	+ 4,5

	Breite	Länge von Greenwich	Höhe über dem Meere m	Mittlere Jahres-temperatur °C.
Hakodade	42° N.	141° O.	9	+ 8,9
Taschkent	41½	59	450	+ 13,2
Niutschwang	40½	123	—	+ 8,4
Peking	40	116	37	+ 11,8
Jarkand	38½	77	1257	+ 12,3
Niigata	38	139	5	+ 13,8
Tokio	36	140	7	+ 13,6
Leh	34	78	3506	+ 4,4
Bagdad	33½	44	63	+ 22,8
Jerusalem	32	35	770	+ 17,3
Multan	31	72	128	+ 24,4
Shanghai	31	121	7	+ 15,1
Quetta	30	67	1680	+ 14,3
Buschir	29	51	8	+ 23,2
Agra	27	78	169	+ 26,0
Patna	25½	85	54	+ 25,4
Kelung	25½	122	15	+ 21,4
Kalkutta	22½	88	6	+ 25,4
Hongkong	22½	114	17	+ 21,5
Hanoi	21	106	—	+ 24,2
Bombay	19	73	11	+ 26,5
Aden	13	45	28	+ 27,3
Madras	13	80	6	+ 27,8
Port Blair	11½	92	19	+ 26,8
Saigon	11	107	—	+ 27,2
Jaffna	9½	80	3	+ 27,9
Point de Galle	6	80	12	+ 26,7
Batavia	6 S.	107	7	+ 25,8

Australien und Neuseeland.

Brisbane	27½° S.	153° O.	—	+ 20,0
Sidney	34	151	47	+ 17,1
Melbourne	38	145	38	+ 14,4
Hobarttown	43	147	32	+ 11,7
Auckland	37	173	—	+ 15,3
Martendale	46	168	—	+ 10,2

lich gemacht, durch welche er auf einer Erdkarte alle Orte derselben Hemisphäre verband, welche gleiche mittlere Jahreswärme haben. Seine Abhandlung über die Isothermen und die Vertheilung der Wärme auf der Erde erschien im Jahre 1817 im dritten Bande der *„Mémoires de la société d'Arcueil"*.

Humboldt's Abhandlung enthält eine Tabelle, welche die mittlere Jahreswärme für 60 verschiedene Orte angiebt, und nach diesen legte er seine Isothermen. Seit jener Zeit aber sind durch zahlreiche Beobachtungen die klimatischen Verhältnisse vieler Orte genauer ermittelt worden, ohne dass dadurch der Typus der grossen Krümmungen der Isothermen, wie sie von Humboldt bestimmt worden waren, eine wesentliche Aenderung erfahren hätte.

Die neuesten Isothermenkarten, zu deren Construction das zahlreiche Beobachtungsmaterial der letzten Jahre benutzt wurde, hat Hann im Jahre 1887 veröffentlicht. Dieselben finden sich in dem Atlas der Meteorologie (Berghaus' Physikalischer Atlas, Abtheilung III) und zeigen den Verlauf der isothermischen Linien so, wie in Tab. XXXVI ff. unseres Atlas angegeben ist. Die Temperaturen sind hier auf das Meeresniveau reducirt, d. h. die Linien zeigen für jeden einzelnen Ort nicht die wahre, sondern diejenige mittlere Temperatur an, welche dort herrschen würde, wenn der Ort sich im Niveau der Meeresoberfläche befände.

Aus der Karte Tab. XXXVII ergiebt sich, dass die Zonen gleicher Temperatur nicht gleichmässig um den Nordpol vertheilt sind, und dass der nördliche Kältepol nicht mit dem geographischen Nordpol zusammenfällt. Die niedrigste mittlere Temperatur ist bei der Lady Franklin Bay, Grinelland, beobachtet. Ob die kleine, bei Werchojansk (Br. = $67^1/_2{}^0$, L. 134^0 O) gezeichnete Kälteinsel thatsächlich vorhanden ist, ist nach Hann zweifelhaft; es scheint vielmehr, dass die mittlere Jahrestemperatur von Ustjansk, wie sie auch in unserer obigen Tabelle angegeben ist, in Wirklichkeit niedriger als $-15,9^0$ ist. Dann würde aber wahrscheinlich nur eine Zunge niedriger Jahrestemperaturen sich von den nördlicheren Gegenden südwärts bis Werchojansk erstrecken.

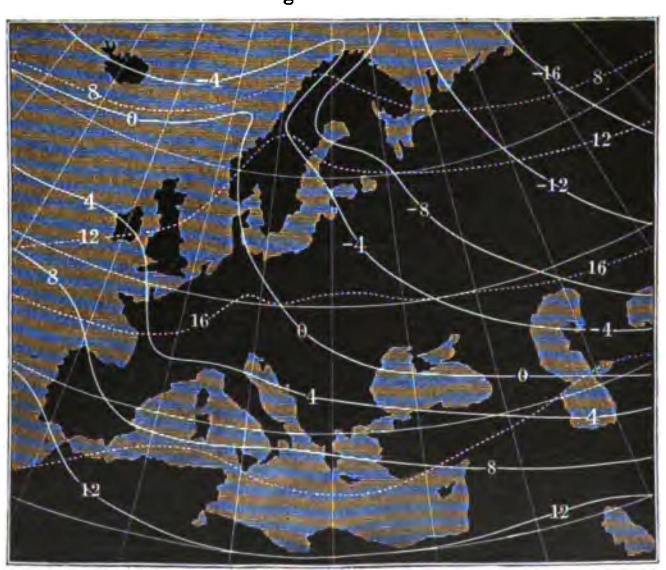
Monatsisothermen. Wenn man die mittlere Jahrestemperatur 176
eines Ortes kennt, so genügt dies noch keineswegs, um ein richtiges Bild von den klimatischen Verhältnissen desselben zu geben; denn bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur kann der Gang der Wärme im Laufe eines Jahres, die Vertheilung der Wärme auf die einzelnen Jahreszeiten eine sehr verschiedene sein. So haben z. B., wie man aus obiger Tabelle sieht, Edinburg und Giessen fast gleiche mittlere Jahreswärme ($8,4^0$ C. und $8,5^0$ C.), in Edinburg aber ist die mittlere Temperatur des Januar $+3,0^0$, in Giessen hingegen nur $-0,5^0$. Giessen hat also einen weit kälteren Winter als Edinburg, dagegen ist die mittlere Julitemperatur für Giessen $18,1^0$, für Edinburg nur $14,6^0$. Bei gleicher mittlerer Jahrestemperatur hat also Edinburg einen gelinderen Winter und einen kühleren Sommer als Giessen.

Um die Wärmeverhältnisse eines Landes zu kennen, muss man ausser der mittleren Jahrestemperatur auch noch wissen, wie sich die Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten vertheilt. Diese Vertheilung

kann man auf einer Isothermenkarte nach Humboldt's Beispiel dadurch andeuten, dass man an den verschiedenen Stellen einer und derselben Isotherme die mittlere Sommertemperatur des entsprechenden Ortes über, die entsprechende Wintertemperatur aber unter die Curve setzt.

Eine sehr gute Uebersicht in Beziehung auf die Vertheilung der Wärme zwischen Winter und Sommer gewährt eine Karte, in welcher man alle Orte durch Curven verbindet, welche gleiche mittlere Wintertemperatur haben, und dann wieder diejenigen, für welche die mittlere Sommertemperatur gleich ist. Die Linien gleicher mittlerer Sommertemperatur heissen Isotheren, die Linien gleicher mittlerer Wintertemperatur heissen Isochimenen. Fig. 288 stellt ein Kärtchen von

Fig. 288.



Europa mit den Isotheren und Isochimenen von 4 zu 4 Grad Réaumur (5 zu 5 Grad Celsius) dar.

Die ausgezogenen Curven sind die Isochimenen, die punktirten sind die Isotheren. Man sieht aus dieser Karte leicht, dass die Westküste des südlichen Theils von Norwegen, Dänemark, ein Theil von Böhmen und Ungarn, Siebenbürgen, Bessarabien und die Südspitze der Halbinsel Krim gleiche mittlere Wintertemperatur von 0^0 haben. Böhmen hat aber gleichen Sommer mit dem Ausfluss der Garonne, und in der Krim ist der Sommer noch weit wärmer. Dublin hat eine gleich mittlere Wintertemperatur, nämlich 4^0 R. (5^0 C.), mit Nantes, Oberitalien und Constantinopel, und gleiche Sommerwärme von 12^0 R. (15^0 C.) mit Drontheim und Finnland.

Die Isothere von 16° R. (20° C.) geht vom Ausfluss der Garonne ungefähr über Strassburg und Würzburg nach Böhmen, der Ukraine, dem Lande der Donischen Kosaken, und etwas nördlich vom Kaspischen Meere vorbei; wie ungleich aber ist die mittlere Wintertemperatur an verschiedenen Orten dieser Isothere! An der Westküste von Frankreich ist sie 4° R. (5° C.), in Böhmen 0°, in der Ukraine — 4° R. (5° C.) und etwas nördlich vom Kaspischen Meere gar — 8° R. (10° C.).

Eine noch weit vollständigere Uebersicht über den Gang der Temperatur an irgend einem Orte erhält man, wenn aus möglichst vieljährigen Beobachtungen die allgemeine Mitteltemperatur für jeden einzelnen Monat bestimmt wird. Dove hat mit Benutzung alles ihm zugänglichen Beobachtungsmaterials eine Tabelle zusammengestellt, welche die allgemeinen Monatsmittel für 900 Orte enthält und nach dieser Tabelle Isothermenkarten für jeden einzelnen Monat des Jahres construirt. In neuerer Zeit ist eine ähnliche Zusammenstellung für viele Orte, und die Monate Januar, März, April, Mai, Juli, September, October und November in dem bereits erwähnten Werke von Woeikoff gegeben. Die in unseren Atlas, Tab. XXXVIII bis XLI, eingetragenen Monatsisothermen für die Monate Januar und Juli zeigen den Verlauf dieser Linien, wie sie von Hann in dem Berghaus'schen Physikalischen Atlas gegeben sind.

Aus denselben Gründen, aus welchen die Mittagsstunde nicht die heisseste Stunde des Tages ist, sondern die höchste Temperatur im Laufe eines Tages erst einige Stunden nach der Culmination der Sonne stattfindet, erreicht auch die Sommerwärme im Durchschnitt erst nach dem Sommersolstitium ihr Maximum, und so ist denn, wo nicht locale Ursachen eine Störung veranlassen, in der ganzen nördlichen gemässigten Zone der Juli der heisseste Monat; ebenso folgt die grösste Winterkälte erst nach dem Wintersolstitium, und im Durchschnitt ist auf der nördlichen Halbkugel der Januar der kälteste Monat.

Wenn nun aber, wie es doch natürlich erscheint, der heisseste Monat die Mitte des Sommers, der kälteste die Mitte des Winters bilden soll, so ist klar, dass die meteorologische Eintheilung der Jahreszeiten von der astronomischen, bei welcher die Jahreszeiten durch die Solstitien und Aequinoctien abgetheilt werden, abweichen muss. In der That sind nach meteorologischem Sinne die Jahreszeiten der nördlichen gemässigten Zone in folgender Weise zusammengesetzt:

den Winter bilden: December, Januar, Februar;
den Frühling: März, April, Mai;
den Sommer: Juni, Juli und August;
den Herbst endlich: September, October und November.

Nachstehend ist für eine grössere Anzahl von Orten die mittlere Monatstemperatur für die Monate Januar, April, Juli und October zusammengestellt.

Mittlere Monatstemperaturen.

	Januar	April	Juli	October	Diff. Juli-Jan.
Lady Franklin-Bay . . .	— 39,1°	— 25,1°	+ 2,8°	— 22,7°	+ 41,9°
Nördl. v. Nowaja Semlja	— 23,5	— 18,8	+ 1,6	— 17,2	+ 25,1
Westküste v. „ „	— 12,4	— 13,5	+ 4,7	— 3,5	+ 17,1
Winterhafen	— 35,8	— 22,3	+ 5,8	— 19,5	+ 41,6
Insel Sabine	— 24,2	— 16,5	+ 3,8	— 13,8	+ 28,0
Boothia Felix	— 32,1	— 18,8	+ 5,2	— 12,6	+ 37,3
Kingua Fjord	— 30,5	— 15,2	+ 5,9	— 10,9	+ 36,4*)
S. Michael, Alaska . . .	— 18,1	— 5,5	+ 11,7	— 2,2	+ 29,8
Sitka, Alaska	— 0,4	+ 4,9	+ 13,2	+ 7,2	+ 13,6
Ramah, Labrador . . .	— 17,9	— 7,9	+ 8,1	+ 0,7	+ 26,0
Factorei York	— 23,3	— 7,4	+ 13,4	— 2,9	+ 36,7
Winnipeg	— 20,5	+ 0,9	+ 19,1	+ 3,5	+ 39,6
Fort Vancouver	+ 2,6	+ 11,7	+ 19,4	+ 11,4	+ 16,8
St. Johns	— 4,5	+ 1,5	+ 15,6	+ 8,1	+ 20,1
Quebec	— 11,2	+ 2,2	+ 20,2	+ 6,9	+ 31,4
Breckinridge	— 16,0	+ 4,1	+ 21,4	+ 5,8	+ 37,4
St. Paul	— 11,5	+ 6,1	+ 20,1	+ 7,3	+ 31,6
Burlington	— 6,9	+ 5,4	+ 20,7	+ 8,6	+ 27,6
Toronto	— 4,7	+ 5,1	+ 19,8	+ 7,7	+ 24,5
New-York	— 1,0	+ 9,2	+ 23,9	+ 12,1	+ 24,9
Salzseestadt	— 2,8	+ 9,4	+ 25,0	+ 12,5	+ 27,8
Philadelphia	— 0,4	+ 10,4	+ 24,5	+ 12,2	+ 24,9
Denver	— 3,8	+ 8,3	+ 23,2	+ 10,3	+ 27,0
Pikes Peak	— 15,9	— 11,0	+ 5,0	— 6,1	+ 20,9
San Francisco	+ 9,6	+ 11,2	+ 13,8	+ 14,2	+ 4,2
Fort Miller	+ 8,4	+ 17,8	+ 30,6	+ 19,8	+ 22,2
Fort Gibson	+ 3,8	+ 16,9	+ 27,1	+ 16,6	+ 23,3
Mohave, Arizona	+ 10,9	+ 22,9	+ 34,2	+ 23,6	+ 23,3
Charleston	+ 9,6	+ 18,4	+ 26,8	+ 18,5	+ 17,2
New-Orleans	+ 12,6	+ 20,4	+ 27,8	+ 20,8	+ 15,2
Mexiko	+ 12,5	+ 18,4	+ 18,4	+ 15,6	+ 5,9
Guatemala	+ 16,7	+ 20,3	+ 19,2	+ 18,6	+ 2,5
St. Anns, Trinidad . . .	+ 24,5	+ 25,6	+ 25,7	+ 26,1	+ 1,2
Caracas	+ 20,3	+ 22,5	+ 22,2	+ 21,9	+ 1,9
Bogota	+ 13,9	+ 14,7	+ 13,5	+ 14,7	— 0,4
Antisana, Ecuador . . .	+ 6,2	+ 5,9	+ 3,0	+ 5,0	— 3,2
Iquitos	+ 25,3	+ 25,0	+ 23,4	+ 25,1	— 1,9
Cochabamba	+ 18,0	+ 18,9	+ 15,2	+ 20,0	— 2,8

*) Kältester Monat Februar (— 35,8°), wärmster Monat August (+ 7,4°), also Differenz = 43,2° (einjährige Beobachtung).

	Januar	April	Juli	October	Diff. Juli-Jan.
Arica	+ 22,0°	+ 20,0°	+ 17,6°	+ 18,9°	— 4,4°
Rio Janeiro	+ 26,6	+ 24,8	+ 20,6	+ 22,9	— 6,0
Villa Formosa	+ 27,2	+ 21,7	+ 17,2	+ 22,6	— 10,0
Mendoza	+ 24,3	+ 16,5	+ 7,1	+ 16,4	— 17,2
Santiago	+ 18,9	+ 13,1	+ 7,3	+ 13,0	— 11,6
Buenos Ayres	+ 24,4	+ 16,6	+ 9,4	+ 17,0	— 15,0
Valdivia	+ 17,1	+ 12,1	+ 7,3	+ 11,6	— 9,8
Chubut	+ 20,9	+ 11,6	+ 6,2	+ 14,9	— 14,7
Falklands-Inseln	+ 9,6	+ 6,6	+ 2,5	+ 5,0	— 7,1
Süd-Georgien	+ 4,6	+ 0,5	— 2,3	+ 1,3	— 6,9
Uschuia, Feuerland	+ 10,6	+ 5,7	— 0,6	+ 6,0	— 11,2
Wardő	— 5,7	— 1,8	+ 8,7	+ 1,6	+ 14,4
Haparanda	— 12,3	— 1,5	+ 15,5	+ 1,3	+ 27,8
Archangelsk	— 13,6	— 1,0	+ 15,9	+ 1,5	+ 29,5
Christiania	— 5,1	+ 3,8	+ 16,5	+ 5,5	+ 21,6
Helsingfors	— 6,9	+ 1,0	+ 16,4	+ 5,6	+ 23,3
Petersburg	— 9,4	+ 2,1	+ 17,8	+ 4,5	+ 27,2
Dorpat	— 8,0	+ 2,7	+ 17,3	+ 5,0	+ 25,3
Mitau	— 5,0	+ 4,9	+ 17,6	+ 6,9	+ 22,6
Edinburg	+ 3,0	+ 7,3	+ 14,6	+ 8,1	+ 11,6
Moskau	— 11,1	+ 3,4	+ 18,9	+ 4,3	+ 30,0
Kasan	— 13,8	+ 3,2	+ 19,6	+ 3,7	+ 33,4
Kopenhagen	— 0,1	+ 5,7	+ 16,6	+ 8,2	+ 16,7
Kiel	— 0,4	+ 5,9	+ 16,2	+ 8,1	+ 16,6
Königsberg	— 3,4	+ 5,5	+ 17,2	+ 7,7	+ 20,6
Hamburg	— 0,4	+ 7,4	+ 17,2	+ 8,5	+ 17,6
Berlin	— 0,8	+ 8,4	+ 18,8	+ 9,7	+ 19,6
Valentia, Irland	+ 7,4	+ 9,6	+ 15,3	+ 11,6	+ 7,9
Warschau	— 4,5	+ 7,3	+ 18,8	+ 8,1	+ 23,3
Orenburg	— 15,3	+ 3,2	+ 21,6	+ 3,8	+ 36,9
Greenwich	+ 3,5	+ 9,5	+ 17,7	+ 11,1	+ 14,2
Brocken	— 5,4	+ 0,7	+ 10,7	+ 4,0	+ 16,1
Leipzig	— 0,4	+ 8,0	+ 18,5	+ 8,2	+ 18,9
Brüssel	+ 2,0	+ 9,0	+ 18,0	+ 10,4	+ 16,0
Giessen	— 0,5	+ 8,5	+ 18,1	+ 9,0	+ 18,6
Kiew	— 6,1	+ 6,7	+ 19,1	+ 7,6	+ 25,2
Prag	— 1,2	+ 8,6	+ 19,3	+ 9,3	+ 20,5
Pultawa	— 7,5	+ 6,7	+ 20,5	+ 7,9	+ 28,0
Brest	+ 6,3	+ 11,0	+ 17,9	+ 12,3	+ 11,6
Versailles	+ 2,7	+ 10,1	+ 18,9	+ 11,2	+ 16,2
Strassburg	— 0,3	+ 9,8	+ 19,2	+ 16,1	+ 19,5
Czernowitz	— 4,0	+ 8,3	+ 19,9	+ 10,0	+ 23,9
Zaryzin	— 10,4	+ 6,5	+ 23,7	+ 7,2	+ 34,1
München	— 3,0	+ 7,5	+ 17,2	+ 8,0	+ 20,2

	Januar	April	Juli	October	Diff. Juli-Jan.
Wien	— 1,6°	+ 9,4°	+ 19,7°	+ 10,0°	+ 21,3°
Innsbruck	— 3,4	+ 9,1	+ 17,9	+ 9,3	+ 21,3
Budapest	— 1,9	+ 10,8	+ 21,4	+ 10,5	+ 23,3
Säntis	— 9,0	— 3,2	+ 5,4	— 0,7	+ 14,4
Rigi	— 5,5	+ 0,2	+ 9,3	+ 3,7	+ 14,8
Nikolajew	— 4,1	+ 9,2	+ 23,0	+ 10,6	+ 27,1
Klagenfurt	— 6,2	+ 8,6	+ 18,9	+ 8,6	+ 25,1
Odessa	— 3,9	+ 8,2	+ 22,4	+ 10,9	+ 26,3
Astrachan	— 7,1	+ 9,4	+ 25,5	+ 10,0	+ 32,6
Genf	— 0,1	+ 9,0	+ 18,8	+ 9,9	+ 18,9
St. Bernhard	— 9,0	— 3,3	+ 6,2	— 0,5	+ 15,2
Lyon	+ 2,4	+ 11,8	+ 21,2	+ 11,7	+ 18,8
Mailand	+ 0,5	+ 13,0	+ 24,1	+ 13,4	+ 23,6
Triest	+ 9,7	+ 13,0	+ 24,1	+ 15,3	+ 14,4
Alessandria	— 0,9	+ 12,8	+ 23,8	+ 12,6	+ 24,7
Simferopol	— 0,6	+ 9,0	+ 20,7	+ 10,9	+ 21,3
Bukarest	— 2,9	+ 11,5	+ 22,8	+ 12,1	+ 25,7
Modena	+ 1,6	+ 13,6	+ 24,8	+ 13,8	+ 23,2
Perpignan	+ 7,6	+ 13,9	+ 24,1	+ 16,0	+ 16,5
Montpellier	+ 4,9	+ 13,1	+ 23,0	+ 14,1	+ 18,1
Nizza	+ 8,4	+ 14,5	+ 23,9	+ 17,0	+ 15,5
Wladikawkas	— 4,7	+ 8,6	+ 20,8	+ 10,4	+ 25,5
Rom	+ 7,3	+ 13,8	+ 24,7	+ 16,6	+ 17,4
Tiflis	+ 0,6	+ 11,7	+ 24,3	+ 14,0	+ 23,7
Konstantinopel	+ 4,8	+ 10,1	+ 22,1	+ 15,7	+ 17,3
Madrid	+ 4,9	+ 12,7	+ 24,5	+ 13,6	+ 19,6
Lissabon	+ 10,3	+ 14,6	+ 21,2	+ 16,9	+ 10,9
Palermo	+ 10,9	+ 14,9	+ 24,9	+ 19,3	+ 14,0
Athen	+ 8,2	+ 15,0	+ 27,0	+ 18,7	+ 18,8
Algier	+ 12,1	+ 16,3	+ 25,0	+ 19,7	+ 12,9
Biskra, Sahara	+ 10,1	+ 18,9	+ 32,2	+ 20,0	+ 22,1
Funchal, Madeira	+ 15,9	+ 17,1	+ 21,9	+ 20,7	+ 6,0
Alexandrien	+ 14,6	+ 19,0	+ 25,3	+ 23,7	+ 10,7
Kairo	+ 12,4	+ 21,5	+ 29,2	+ 22,8	+ 16,8
San Louis	+ 20,2	+ 20,1	+ 26,9	+ 27,2	+ 6,7
Chartum	+ 19,7	+ 30,2	+ 33,1	+ 29,2	+ 13,4
Massaua	+ 25,5	+ 29,9	+ 34,6	+ 32,2	+ 9,1*)
Bakel	+ 24,7	+ 24,1	+ 26,6	+ 28,1	+ 1,9**)
Lado und Gondokoro	+ 28,0	+ 27,4	+ 24,0	+ 25,8	— 4,0
Rubaga	+ 21,0	+ 21,9	+ 21,3	+ 21,5	+ 0,3
Chinchoxo	+ 25,2	+ 25,4	+ 21,7	+ 24,7	— 3,5
Loanda	+ 24,9	+ 25,4	+ 19,1	+ 22,8	— 5,8

*) Mittlere Temperatur im Mai = + 37,2°.

**) Mittlere Temperatur im Mai = + 32,4°.

	Januar	April	Juli	October	Diff. Juli-Jan.
Insel St. Helena	+ 23,0°	+ 23,4°	+ 18,8°	+ 19,9°	— 4,2°
Insel Mauritius	+ 27,6	+ 26,6	+ 22,2	+ 24,0	— 5,4
Capstadt	+ 20,4	+ 17,2	+ 12,6	+ 16,2	— 7,8
Sagastyr	— 36,4	— 21,7	+ 4,9	— 14,6	+ 41,3
Ustjansk	— 41,4	— 18,9	+ 13,3	— 19,1	+ 54,7
Werchojansk	— 50,5	— 15,1	+ 15,4	— 13,9	+ 65,9
Turuchansk	— 28,2	— 10,8	+ 15,7	— 7,3	+ 43,9
Beresow	— 22,2	— 6,1	+ 16,7	— 4,1	+ 38,9
Jakutsk	— 42,7	— 9,6	+ 18,8	— 9,1	+ 61,5
Olekminsk	— 35,5	— 4,7	+ 18,6	— 5,1	+ 54,1
Narym	— 22,2	— 2,3	+ 19,5	— 1,4	+ 41,7
Ochotsk	— 23,7	— 5,6	+ 12,9	— 3,2	+ 36,6
Jenisseisk	— 23,5	— 2,1	+ 19,6	— 1,3	+ 43,1
Tobolsk	— 19,0	+ 0,5	+ 19,2	+ 0,3	+ 38,2
Tomsk	— 19,7	— 0,7	+ 19,1	0,0	+ 38,8
Krasnojarsk	— 19,6	+ 1,6	+ 19,4	+ 1,5	+ 39,0
Minussinsk	— 22,2	+ 5,1	+ 20,0	+ 2,3	+ 42,2
Barnaul	— 19,3	+ 0,9	+ 19,6	+ 1,4	+ 38,9
Nikolajewsk	— 23,2	— 3,2	+ 16,5	+ 1,5	+ 39,7
Petropawlowsk	— 8,4	— 0,9	+ 14,6	+ 4,4	+ 23,0
Irkutsk	— 20 1	+ 2,4	+ 18,6	+ 1,1	+ 38,7
Hüttenwerk Nertschinsk	— 29,4	— 0,6	+ 18,4	— 1,7	+ 47,8
Akmollinsk	— 18,2	+ 1,8	+ 20,4	+ 2,0	+ 38,6
Semipalatinsk	— 18,2	+ 3,2	+ 22,5	+ 3,0	+ 40,7
Blagoweschtschensk	— 25,5	+ 1,3	+ 20,7	+ 0,6	+ 46,2
Irgis	— 15,9	+ 6,2	+ 24,4	+ 5,3	+ 40,3
Chabarowka	— 24,9	+ 2,1	+ 19,9	+ 3,2	+ 44,8
Urga	— 24,8	+ 1,0	+ 17,0	— 2,1	+ 41,8
Aniwa, Insel Sachalin	— 12,5	+ 1,6	+ 15,7	+ 7,5	+ 28,2
Kuldscha	— 9,8	+ 12,5	+ 24,8	+ 9,0	+ 34,6
Hafen St. Olga	— 12,8	+ 4,1	+ 18,7	+ 6,8	+ 31,5
Wjernyi	— 8,4	+ 10,4	+ 22,8	+ 7,4	+ 31,2
Wladiwostock	— 15,3	+ 4,2	+ 19,7	+ 9,4	+ 35,0
Hakodade	— 2,6	+ 6,8	+ 19,1	+ 11,7	+ 21,7
Taschkent	— 1,7	+ 14,8	+ 26,8	+ 11,5	+ 28,5
Niutschwang	— 12,0	+ 8,6	+ 25,4	+ 10,3	+ 37,4
Peking	— 4,6	+ 13,8	+ 26,1	+ 12,5	+ 30,7
Jarkand	— 6,0	+ 17,8	+ 27,7	+ 13,4	+ 33,7
Niigata	+ 2,2	+ 10,7	+ 26,0	+ 15,5	+ 23,8
Tokio	+ 2,3	+ 12,2	+ 25,0	+ 14,7	+ 22,7
Leh	— 8,1	+ 5,1	+ 16,4	+ 4,2	+ 24,5
Bagdad	+ 10,9	+ 21,8	+ 34,3	+ 23,9	+ 23,4
Jerusalem	+ 8,5	+ 16,9	+ 24,1	+ 20,3	+ 15,6
Multan	+ 12,4	+ 26,6	+ 33,1	+ 25,0	+ 20,7

	Januar	April	Juli	October	Diff. Juli-Jan.
Shanghai	+ 2,1⁰	+ 13,9⁰	+ 27,3⁰	+ 17,4⁰	+ 25,2⁰
Quetta	+ 4,7	+ 14,8	+ 24,9	+ 13,5	+ 20,2
Buschir	+ 14,1	+ 22,1	+ 31,2	+ 25,4	+ 17,1
Agra	+ 15,6	+ 31,1	+ 30,6	+ 26,4	+ 15,0*)
Patna	+ 16,2	+ 30,4	+ 29,3	+ 26,5	+ 13,1
Kelung	+ 14,2	+ 18,9	+ 28,2	+ 23,2	+ 14,0
Kalkutta	+ 18,3	+ 29,1	+ 28,3	+ 26,7	+ 10,0
Hongkong	+ 15,3	+ 22,8	+ 28,7	+ 24,2	+ 13,4
Hanoi	+ 15,4	+ 24,3	+ 30,5	+ 25,4	+ 15,1
Bombay	+ 23,3	+ 28,1	+ 27,2	+ 27,2	+ 3,9
Aden	+ 24,0	+ 27,7	+ 28,9	+ 27,8	+ 4,9
Madras	+ 24,3	+ 29,5	+ 29,7	+ 27,3	+ 5,4
Port Blair	+ 26,2	+ 28,5	+ 26,7	+ 26,4	+ 0,5
Saigon	+ 25,3	+ 28,7	+ 27,5	+ 27,0	+ 2,2
Jaffna	+ 25,6	+ 29,9	+ 28,4	+ 27,8	+ 2,8
Point de Galle	+ 25,7	+ 27,8	+ 26,6	+ 26,6	+ 0,9
Batavia	+ 25,1	+ 26,2	+ 25,6	+ 26,2	+ 0,5
Brisbane	+ 25,1	+ 20,7	+ 13,7	+ 20,8	— 11,4
Sidney	+ 21,8	+ 18,1	+ 11,2	+ 17,5	— 10,6
Melbourne	+ 19,9	+ 14,7	+ 8,7	+ 14,3	— 11,2
Hobarttown	+ 16,2	+ 11,9	+ 6,8	+ 11,4	— 9,4
Auckland	+ 19,9	+ 16,5	+ 11,0	+ 14,3	— 8,9
Martendale	+ 14,6	+ 10,1	+ 5,3	+ 10,4	— 9,3

177 **Die jährlichen Variationen der Lufttemperatur.** Die vorstehende Tabelle liefert uns das Material, um die jährlichen Variationen der Lufttemperatur für die in derselben verzeichneten Orte zu verfolgen. Zunächst finden wir in derselben eine Bestätigung für die bereits in §. 168 ausgesprochene Behauptung, dass im Allgemeinen die Grenzen, zwischen welchen die Temperatur eines Ortes im Laufe eines Jahres schwankt, um so weiter aus einander liegen, je weiter derselbe vom Aequator entfernt ist. Es geht dies besonders aus der Betrachtung der letzten, mit „Diff. Juli — Januar“ überschriebenen Columne dieser Tabelle hervor.

Um für irgend einen Ort den normalen Gang der mittleren Temperatur anschaulich zu machen, kann man denselben graphisch darstellen, indem man auf zwölf gleichweit von einander abstehenden, den einzelnen Monaten entsprechenden Verticallinien die entsprechenden mittleren Monatstemperaturen als Ordinaten aufträgt und die so markirten Punkte

*) Mittlere Temperatur im Mai = + 34,3⁰.

durch eine Curve verbindet, wie dies Fig. 289 für fünf verschiedene Orte geschehen ist.

Man übersieht hier sehr deutlich, wie in S. Anns die mittlere Temperatur der einzelnen Monate nur unbedeutenden Variationen unterliegt, während in Werchojansk die mittlere Monatstemperatur rasch

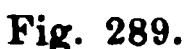
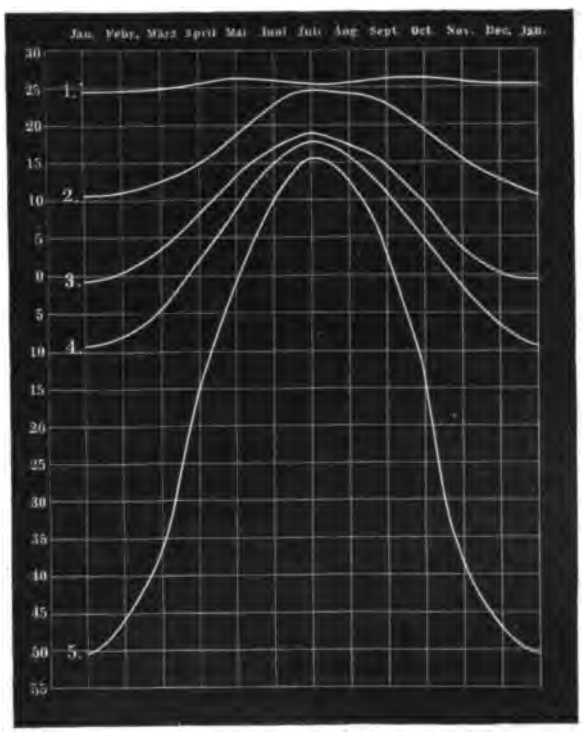


Fig. 289.



1. S. Anns, Trinidad.
2. Palermo.
3. Berlin.
4. Petersburg.
5. Werchojansk.

von — 50,5° bis 15,4° steigt, so dass also die Temperaturcurve für Werchojansk eine sehr steile wird.

So ist auch die jährliche Temperaturcurve für Petersburg steiler als die für Berlin; die mittlere Januartemperatur ist für Petersburg bedeutend, die mittlere Julitemperatur dagegen nur wenig tiefer als für Berlin.

Die Ordinaten, über welche die Curven der Fig. 289 gezogen sind, beziehen sich übrigens auf zu weit von einander abstehende Zeitintervalle, als dass sie das Gesetz der jährlichen Temperaturperiode auch in seinen Einzelheiten genau darstellen könnten; zu diesem Zwecke müsste man statt der Monatsmittel die mittlere Temperatur kleinerer Zeitabschnitte ermitteln und zwar erweisen sich fünftägige Mittel,

durch welche das Jahr in 73 gleiche Theile getheilt wird, besonders empfehlenswerth. Dove hat alle auf fünftägige Mittel berechneten Beobachtungen zusammengestellt und für einige Orte, welche besonders charakteristische Eigenthümlichkeiten und Gegensätze darbieten, graphisch dargestellt (Verbreitung der Wärme auf der Oberfläche der Erde, Berlin 1848). Am vollständigsten erhält man aber jedenfalls die jährliche Temperaturcurve, wenn man zu ihrer Construction die 365 Tagesmittel verwendet.

Hat man aus einer längeren Reihe von Jahren die mittlere Temperatur für einen jeden Tag des Jahres ermittelt, so erhält man die mittlere Temperaturcurve des Jahres, wenn man die 365 Tagesmittel in gleichen Horizontaldistanzen als Ordinaten aufträgt und den Gipfelpunkt einer jeden mit dem Gipfelpunkte der folgenden verbindet.

So hat sich z. B. aus Beobachtungen der Jahre 1848 bis 1893 die mittlere Temperatur der einzelnen Tage des Jahres für Königsberg folgendermaassen gefunden (s. nebenstehende Tabelle).

Wenn man nach den Zahlen dieser Tabelle die Temperatur eines jeden Tages als Ordinate aufträgt und den Gipfelpunkt jeder Ordinate mit dem Gipfelpunkte der folgenden durch eine gerade Linie verbindet, wie es auf Tab. 12 für die Monate Januar und Juli geschehen ist, so erhält man nicht etwa eine regelmässig verlaufende Curve, sondern eine im Zickzack unregelmässig auf- und absteigende. Bisweilen sind solche Unregelmässigkeiten, wie z. B. die bekannten Kälterückfälle im Mai, von denen später die Rede sein wird, durch die meteorologischen Verhältnisse begründet, im Allgemeinen kann man aber nicht annehmen, dass solche unregelmässige Curven, wie die in Tab. 12 gezeichneten, das wahre Gesetz des mittleren Verlaufes der Temperatur ausdrücken. In 45 jährigen Mitteln erscheinen also die Störungen des normalen Ganges der Lufttemperatur noch nicht ausgeglichen. Diese Unregelmässigkeiten verschwinden aber selbst in der Curve noch nicht, welche sich in der angegebenen Weise für Berlin aus 110 jährigen Beobachtungen ergiebt.

Um solche Unregelmässigkeiten zu entfernen, haben Bouvard, Bessel u. A. Interpolationsformeln construirt, deren Constanten aus einer möglichst grossen Reihe von Beobachtungsdaten abgeleitet werden müssen. Die Anwendung solcher Formeln ist aber eine so umständliche, dass wir hier nicht weiter darauf eingehen können.

178 **Thermische Isanomalen.** Ein Blick auf die Karte der Jahresisothermen belehrt uns, wie ungleich die mittlere Jahreswärme an verschiedenen Orten desselben Breitengrades ist. Auf dem 60. Breitengrade z. B. ist die mittlere Jahrestemperatur auf dem Meere zwischen Asien und Amerika gleich 0°, an der Westküste der Hudsonsbay ist sie ungefähr — 6°, in der Nähe der Südspitze von Grönland + 2°; auf dem Meere nördlich von Schottland + 7°, auf dem Ural 0° und im Inneren von Asien wieder — 8° C.

Mittlere Temperaturen für Königsberg.

Tag	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December
1.	— 3,8^0	— 3,2^0	— 1,8^0	3,2^0	7,4^0	13,8^0	16,1^0	17,3^0	15,3^0	11,0^0	4,7^0	— 1,1^0
2.	— 4,3	— 2,7	— 2,0	3,2	8,0	14,4	16,4	17,0	15,2	10,9	4,3	— 1,9
3.	— 4,4	— 2,6	— 1,2	3,4	8,3	15,2	16,7	16,9	15,1	10,3	4,1	— 2,1
4.	— 3,6	— 3,2	— 1,4	3,6	8,6	15,2	16,5	17,0	15,4	9,7	4,3	— 2,4
5.	— 3,6	— 2,7	— 1,2	4,0	8,4	15,1	16,3	17,1	15,0	9,4	4,3	— 1,6
6.	— 3,0	— 2,4	— 1,2	4,5	7,6	15,4	16,4	17,0	14,9	9,6	3,8	— 1,2
7.	— 3,3	— 2,2	— 0,7	4,2	7,9	15,3	16,7	16,9	14,8	9,1	3,7	— 0,6
8.	— 3,7	— 3,0	— 0,4	4,4	9,0	15,4	17,1	17,2	14,6	9,5	3,9	— 0,7
9.	— 3,7	— 3,5	— 0,9	4,9	9,4	15,6	17,1	17,5	14,0	9,1	3,2	— 1,2
10.	— 3,4	— 3,6	— 1,0	4,9	9,5	15,3	17,0	17,1	14,2	8,8	2,7	— 1,2
11.	— 3,1	— 2,9	— 0,8	5,5	9,6	15,0	16,9	16,8	14,0	8,7	2,6	— 1,2
12.	— 3,3	— 3,1	— 0,8	5,1	10,0	14,9	17,1	16,9	13,2	8,7	2,2	— 1,9
13.	— 4,0	— 3,8	— 1,1	5,0	10,8	15,4	17,0	17,4	13,2	8,6	1,7	— 1,8
14.	— 4,8	— 3,6	— 1,5	5,0	10,9	15,0	17,8	17,4	13,1	8,0	1,7	— 1,6
15.	— 4,3	— 2,5	— 1,6	4,5	10,4	15,2	17,7	17,2	12,7	7,6	1,4	— 1,3
16.	— 4,5	— 2,0	— 1,1	5,1	11,0	15,4	18,3	16,8	12,5	7,8	1,3	— 0,7
17.	— 4,2	— 2,6	— 1,1	5,4	11,0	15,3	17,6	16,7	12,3	7,7	0,9	— 1,3
18.	— 4,1	— 2,8	— 0,9	5,3	11,6	15,2	17,4	16,4	12,3	7,2	0,9	— 1,4
19.	— 3,2	— 2,7	— 0,6	6,0	12,1	15,5	17,3	16,5	12,1	7,1	0,7	— 2,4
20.	— 2,9	— 2,0	— 0,2	6,8	12,1	16,0	17,2	16,7	12,0	7,0	0,6	— 2,7
21.	— 2,5	— 2,8	— 0,0	7,1	12,4	15,8	16,9	16,4	11,5	6,4	0,3	— 2,7
22.	— 2,9	— 2,4	— 0,6	7,1	12,2	15,7	17,5	16,3	11,1	6,2	0,5	— 2,6
23.	— 2,9	— 2,8	— 0,4	7,2	12,3	15,5	17,6	16,1	11,3	6,5	0,7	— 2,5
24.	— 2,8	— 2,1	+ 0,4	6,8	12,8	15,6	18,2	15,7	11,5	6,2	0,8	— 2,4
25.	— 2,4	— 1,7	1,0	6,9	12,4	15,8	18,3	15,5	11,5	6,2	— 0,2	— 1,8
26.	— 2,2	— 1,4	1,2	7,0	12,8	16,0	17,8	15,4	11,6	5,8	— 0,2	— 1,8
27.	— 3,2	— 1,8	1,3	6,7	13,4	15,9	17,6	15,6	11,2	5,7	0,0	— 2,1
28.	— 3,0	— 1,6	1,8	7,5	13,5	16,0	17,4	15,8	11,7	5,3	+ 0,1	— 2,4
29.	— 2,6		2,7	7,1	13,3	16,0	17,2	15,6	11,8	4,6	0,5	— 1,9
30.	— 2,7		2,9	7,0	13,4	15,9	17,4	15,2	11,5	4,4	— 0,1	— 2,6
31.	— 3,1		3,2		13,1		17,5	15,2				— 3,8

Ermittelt man mit Hülfe der Isothermenkarte durch Interpolation die mittlere Wärme für eine grössere Anzahl äquidistanter, auf demselben Breitengrade liegender Punkte, und nimmt aus den so gefundenen Temperaturen das arithmetische Mittel, so erhält man eine Zahl, welche Dove die normale Temperatur des Parallels nennt. Nach Spitaler's Bestimmungen sind folgende die Werthe der normalen mittleren Jahrestemperatur für die einzelnen Parallelkreise.

80° nördlicher Breite	— 16,8° C.	10° südlicher Breite	+ 25,0° C
70 „ „	— 9,9	20 „ „	+ 22,7
60 „ „	— 0,8	30 „ „	+ 18,5
50 „ „	+ 5,6	40 „ „	+ 11,8
40 „ „	+ 14,0	50 „ „	+ 5,9
30 „ „	+ 20,3	60 „ „	+ 0,2
20 „ „	+ 25,6	70 „ „	— 4,9
10 „ „	+ 26,4	80 „ „	— 8,4
0 „ „	+ 25,9		

Mit Hülfe dieser Tabelle kann man nun leicht sehen, ob und wieviel die mittlere Jahreswärme eines Ortes höher oder tiefer ist als die normale mittlere Jahrestemperatur des Parallels. So ist z. B. die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg, welches ungefähr unter dem 60. Breitengrade liegt, + 3,7°, also um 4,5° höher als die Normaltemperatur des Parallels oder, um es kurz auszudrücken, die mittlere Jahrestemperatur von Petersburg ist um 4,5° zu hoch. In gleichem Sinne ist dagegen die mittlere Jahrestemperatur von Olekminsk, — 7,7°, welches ebenfalls unter dem 60. Breitengrade liegt, um 6,9° zu niedrig.

Diese Differenz zwischen der mittleren Temperatur eines Ortes und der Normaltemperatur seines Parallels nannte Dove die thermische Anomalie. Mit dem Namen der thermischen Isanomalen bezeichnete er dagegen solche auf einer Karte gezogenen Curven, welche eine Reihe von Orten mit einander verbinden, denen eine gleiche thermische Anomalie zukommt. In der Karte Tab. XLII sind die thermischen Isanomalen des Jahres eingetragen. Um die Uebersicht zu erleichtern, sind die Gegenden, in welchen die mittlere Jahreswärme zu hoch ist, weiss gelassen, diejenigen, in welchen sie zu niedrig ist, dagegen blau angelegt.

So übersieht man denn hier mit einem Blick, dass die mittlere Jahreswärme von ganz Europa, Kleinasien, Arabien, Persien, Ostindien und dem grössten Theil von Afrika, Südamerika und Australien höher ist, als die Normaltemperatur des Jahres für die entsprechenden Parallelkreise; dagegen hat in gleicher Weise der ganze asiatische Continent bis auf die eben genannten südwestlichen Theile, und der Continent von Nordamerika bis auf die nordwestlichen Küsten und Florida eine zu geringe mittlere Jahreswärme.

Auf dieser Karte sehen wir aber auch, wie gross die thermische Anomalie eines jeden Ortes ist; wir sehen z. B., dass bei Paris, Berlin, Königsberg und Petersburg die mittlere Jahreswärme um 4°, in Island, dem nördlichen Schottland, dem westlichen Norwegen um 8° zu hoch ist. Dagegen läuft eine thermische Isanomale von — 2° über Fort Simpson, Washington und Boston nach New-Foundland u. s. w.; zu Washington und Boston ist also die mittlere Jahrestemperatur um etwa 2° zu niedrig.

In derselben Weise, wie die Curven der Karte Tab. XLII aus den Jahresisothermen abgeleitet worden sind, kann man auch die Monatsisothermen benutzen, um die thermischen Isanomalen für jeden einzelnen Monat zu construiren. Tab. XLIII und Tab. XLIV enthalten die thermischen Isanomalen der Monate Januar und Juli.

Aus dem Laufe der thermischen Isanomalen des Januar ersehen wir, dass die mittlere Temperatur dieses Monats an den nordwestlichen Küsten von Nordamerika und namentlich an den westlichen Küsten von Europa viel zu hoch ist; dass dagegen dieser Monat im Inneren und an den Ostküsten von Nordamerika, sowie auf dem asiatischen Continent und namentlich in Sibirien, viel zu kalt ist. In London ist die mittlere Temperatur des Januar um 12°, in Drontheim ist sie um 16° zu hoch; dagegen ist sie am Michigan- und Huronsee in Nordamerika 6°, zu Jakutsk in Sibirien 20° niedriger, als die Normaltemperatur der entsprechenden Parallelkreise für den genannten Monat.

Anders gestalten sich die Verhältnisse im Juli; in diesem Monate zeigt sich in Sibirien ein grösserer, in Europa nur ein unbedeutender Ueberschuss über die Normaltemperatur der entsprechenden Parallelkreise, während an den Ostküsten von Nordamerika auch dieser Monat zu kalt bleibt.

Nach Spitaler sind die normalen mittleren Temperaturen der Monate Januar und Juli für die einzelnen Parallelkreise folgende:

	Januar	Juli		Januar	Juli
80° nördl. Breite	— 32,0°	+ 2,6°	10° südl. Breite	+ 25,9°	+ 24,0°
70 „ „	— 25,5	+ 7,3	20 „ „	+ 25,5	+ 20,5
60 „ „	— 16,0	+ 14,1	30 „ „	+ 22,6	+ 15,2
50 „ „	— 7,2	+ 18,1	40 „ „	+ 16,1	+ 9,7
40 „ „	+ 3,9	+ 23,8	50 „ „	+ 8,0	+ 3,2
30 „ „	+ 13,9	+ 27,4	55 „ „	+ 4,6	— 0,6
20 „ „	+ 21,7	+ 28,1			
10 „ „	+ 25,7	+ 26,7			
0 „ „	+ 26,2	+ 25,5			

Land- und Seeklima. Die ungleiche Vertheilung von Land 179
und Wasser auf unserer Erdoberfläche veranlasst eine ungleiche Erwärmung an verschiedenen Stellen, sie bedingt grossentheils die Richtung der Luft- und Meeresströmungen, durch welche entweder die höhere Temperatur der Tropen nach den Polen hin, oder umgekehrt die Kälte der Polarmeere dem Aequator genähert wird; die Wirkung, welche die Sonnenstrahlen an irgend einem Orte der Erde hervorzubringen im Stande sind, hängt von der Configuration des Landes, von der Beschaffenheit des Bodens ab, sie wird durch die Richtung der herrschenden Winde, durch Gebirgszüge modificirt; die klimatischen Verhältnisse einer Gegend sind also das Resultat mannigfacher Ursachen, welche sich theils combiniren,

theils gegenseitig modificiren, und welche bald mehr allgemeiner, bald mehr localer Natur sind, welche bald direct, bald indirect wirken. „Die physische Geographie,“ sagt Humboldt, „hat ihre numerischen Elemente wie das Weltsystem, und wir werden in der Kenntniss dieser Elemente in dem Maasse fortschreiten, als wir die Thatsachen besser benutzen lernen, um in ihnen die allgemeinen Gesetze mitten in dem Zusammenwirken der partiellen Störungen zu erkennen.“

Ganz abgesehen davon, dass die ungleiche Vertheilung von Land und Wasser auf unserer Erdoberfläche die Richtung der Luft- und Meeresströmungen modificirt, bewirkt sie auch direct eine ungleiche Wärmevertheilung, weil das feste Land, die Wärmestrahlen leichter absorbirend und ausstrahlend, sich schneller erwärmt und leichter wieder erkaltet als das Meer, welches überall von gleichförmiger Natur, wegen der bedeutenden specifischen Wärme des Wassers nicht so schnell erwärmt wird, die einmal erlangte Wärme aber auch nicht so schnell abgiebt. Die Temperatur der Meeresoberfläche ist deshalb weit gleichförmiger, sowohl die täglichen als auch die jährlichen Temperaturschwankungen sind hier ungleich geringer, als in der Mitte der grossen Continente, und dadurch ist gerade der schon oben erwähnte Unterschied zwischen Land- und Seeklima bedingt, welcher dadurch grösser wird, dass an den Küsten der nördlich gelegenen Länder der Himmel meistens bedeckt ist, was sowohl den wärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen im Sommer mässigt, als auch die starke Erkaltung des Bodens durch Wärmestrahlung im Winter hindert.

Inseln, welche mitten in einem grossen Meere liegen, Küsten und namentlich Halbinseln werden das weniger veränderliche Seeklima theilen, während auf dem Lande die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintertemperatur um so grösser sind, je weiter man sich von den Küsten entfernt. Schon in früheren Paragraphen wurden Beispiele angeführt, welche zeigen, wie bei gleicher mittlerer Jahreswärme die Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten oft sehr ungleich ist; wie an Orten, welche ein Küstenklima haben, die Temperaturschwankungen weit geringer sind als für solche Orte, welche mitten im Lande liegen.

So ist bereits angeführt worden, dass Edinburg bei gleicher mittlerer Jahreswärme doch mildere Winter und kühlere Sommer hat als Giessen. Die Differenz der mittleren Temperatur des heissesten und kältesten Monats beträgt für Edinburg nur 11,6°, für Giessen aber 18,6 Grad.

Die Tabellen auf Seite 508 bis 512 liefern Material genug, um den Unterschied zwischen Land- und Seeklima nachzuweisen; die folgende kleine Tabelle enthält die Zusammenstellung einiger besonders charakteristischer Beispiele.

Das Seeklima, welchem die vier erstgenannten Orte der folgenden Tabelle angehören, ist besonders durch kühle Sommer und gelinde Winter charakterisirt, so dass die Differenz zwischen der mittleren Temperatur

	Mittlere Temperatur des			Differenz
	Jahres	Januar	Juli	
Sitka	6,3	— 0,4	13,2	13,6
Reykiavig	4,1	— 1,2	13,4	14,6
Bergen	8,2	0,8	14,5	13,7
Dublin	9,5	4,7	15,4	10,7
Toronto	6,8	— 4,7	19,8	24,5
Moskau	3,9	— 11,1	18,9	30,0
Astrachan	9,4	— 7,1	25,5	32,6
Irkutsk	0,0	— 20,1	18,6	38,7
Jakutsk	— 11,1	— 42,7	18,8	61,5

des heissesten und des kältesten Monats nicht sehr gross ist. Am entschiedensten tritt dieser Charakter des Seeklimas an den nordwestlichen Küsten von Amerika auf, wie man aus den Karten Tab. XLIII und XLIV am leichtesten übersehen kann. Der Juli ist hier zu kühl, der Januar viel zu warm.

Das Continentalklima, welchem die fünf zuletzt genannten Orte angehören, ist dagegen durch heisse Sommer und kalte Winter ausgezeichnet, daher der Unterschied zwischen der Temperatur des Januar und des Juli hier sehr gross ist, wie dies namentlich die Temperaturverhältnisse von Sibirien zeigen. Auch dies zeigen die Karten Tab. XLIII und XLIV auf den ersten Blick, indem Sibirien auf der Januarkarte blau, auf der Julikarte weiss, also in beiden Fällen gerade entgegengesetzt angelegt ist, wie die Norwestküste von Nordamerika.

Aus den Karten Tab. XLIII und XLIV ersehen wir weiter, dass Europa fast normalen Sommer hat; die mittlere Temperatur des Juli ist nur wenig zu hoch, und dieser Ueberschuss wächst von Westen nach Osten hin, dagegen fallen die Westküsten Europas im Winter entschieden dem Seeklima anheim, indem hier die mittlere Januartemperatur weit höher ist als die Normaltemperatur dieses Monats für die entsprechenden Breitengrade.

Europa ist also unter allen Ländern gleicher geographischer Breite hinsichtlich seiner Wärmeverhältnisse in jeder Beziehung am meisten begünstigt, da es warme Sommer und gelinde Winter hat. Den Gegensatz zu diesem Verhältniss bildet Nordamerika, welches, den schmalen, bereits erwähnten Küstenstrich abgerechnet, im Sommer dem Küstenklima und im Winter dem Continentalklima anheimfällt, also bei sehr kalten Wintern verhältnissmässig kühle Sommer hat.

Welchen Einfluss solche klimatischen Verschiedenheiten auf die Vegetation ausüben müssen, ist klar. An mehreren Orten Sibiriens, in

Jakutsk z. B., wo die mittlere Jahrestemperatur — 11,1° ist, die mittlere Januartemperatur aber — 42,7° beträgt, wird während des kurzen, aber heissen Sommers Weizen und Roggen auf einem Boden gebaut, welcher in einer Tiefe von 1 m beständig gefroren bleibt; dagegen ist auf der Insel Island bei ungleich höherer Jahrestemperatur und bei einer unbedeutenden Winterkälte an den Bau von Cerealien nicht mehr zu denken, weil die niedrige Sommertemperatur nicht hinreicht, sie zur Reife zu bringen.

Im nordöstlichen Irland, wo im Winter kaum Eis friert, in gleicher Breite mit Königsberg, gedeiht die Myrthe so kräftig wie in Portugal, auf den Küsten von Devonshire überwintert die *Camellia japonica* und die *Fuchsia coccinea* im Freien; der Winter ist in Plymouth nicht kälter als in Florenz und Montpellier; der Weinbau gedeiht aber nicht in England, weil die Rebe wohl eine ziemlich starke Winterkälte vertragen kann, aber eines heissen Sommers bedarf, wenn die Trauben reifen und einen trinkbaren Wein liefern sollen. In Astrachan, welches mit dem Nordcap gleiche Winterkälte hat, reifen die herrlichsten Trauben. Ungarn bringt ausgezeichneten Wein hervor, obgleich seine Winter kälter sind, als im nördlichsten Schottland, wo kein Obstbaum mehr gedeiht, ja selbst kälter als auf den Faröerinseln, wo auch die Buche und die Eiche nicht mehr fortkommt.

Ueberall, wo die mittlere Jahreswärme unter 21° ist, findet das Erwachen der Natur im Frühlinge in demjenigen Monate statt, dessen mittlere Temperatur 7 bis 10° beträgt. Der Pfirsichbaum blüht, wenn die mittlere Temperatur eines Monats 7°, der Pflaumenbaum blüht, wenn sie 10° erreicht. Die Birke schlägt bei einer mittleren Monatstemperatur von 11° aus; in Rom findet dies im März, in Paris Anfangs Mai, in Upsala in der Mitte Juni statt, auf dem Nordcap kommt die Birke nicht mehr fort, weil die mittlere Temperatur des heissesten Monats nur 10° beträgt. Uebrigens sind die obigen Zahlen nur Mittelwerthe, und können in manchen Jahren wesentlich modificirt werden; nicht allein dadurch, dass die Temperaturmittel für die einzelnen Monate von Jahr zu Jahr innerhalb gewisser Grenzen veränderlich sind, sondern besonders deshalb, weil die Zeit des Grünwerdens und Blühens der Bäume durch sehr mannigfaltige Ursachen und keineswegs allein durch die monatliche Mitteltemperatur bedingt wird.

180 **Ursachen der Krümmung der Isothermen.** Bereits im Eingange des vorigen Paragraphen ist erwähnt worden, dass die Luft- und Meeresströmungen einen wesentlichen Einfluss auf die klimatischen Verhältnisse der Länder ausüben, und sie sind es auch vorzugsweise, welche die Krümmung der Isothermen bedingen.

In dem nördlichen Atlantischen Ocean sind die Südwestwinde die vorherrschenden. Der Südwestwind kommt aus den Aequatorialgegenden und führt die Wärme der Tropen zum Theil nach den kälteren Ländern;

dieser erwärmende Einfluss der Südwestwinde wird aber in solchen Ländern vorzugsweise merklich werden, welche der südwestlichen Luftströmung am meisten ausgesetzt sind, und somit erklärt sich, dass die westlicher gelegenen Theile Europas wärmer sind als die östlichen, und dass die Isothermen in Europa, welches eigentlich nur eine halbinselförmige Verlängerung des asiatischen Continents ist, weiter nach Norden steigen als im Inneren von Asien.

Ferner trägt die unter dem Namen des Golfstromes bekannte Meeresströmung sehr zur Milderung des europäischen Klimas bei. Dieser Strom tritt mit einer Temperatur bis zu 30° C. aus der Strasse von Florida, und folgt dann, nachdem er sich mit einem Theile des ebenfalls warmen nördlichen Aequatorialstromes vereinigt hat, den amerikanischen Küsten, um sich mit stets zunehmender Breite und abnehmender Temperatur östlich nach Europa hin zu wenden. Wenn auch der Golfstrom selbst nicht bis an die Küsten von Europa reicht, so verbreitet sich doch sein warmes Wasser, namentlich unter dem Einflusse der vorherrschenden Südwestwinde, in den europäischen Gewässern, was schon daraus hervorgeht, dass man an den westlichen Küsten von Irland und an den Küsten von Norwegen Früchte von Bäumen findet, die in der heissen Zone Amerikas wachsen; die West- und Südwestwinde bleiben also lange mit einem Meerwasser in Berührung, dessen Temperatur zwischen dem 45. und 50. Breitengrade selbst im Januar nicht unter 9° sinkt. Unter dem Einflusse dieses Golfstromes ist das nördliche Europa durch ein eisfreies Meer von dem Gürtel des Polareises getrennt; selbst in der kältesten Jahreszeit erreicht die Grenze des Polareises nicht die europäischen Küsten. Südlich von Spitzbergen (76° n. Br.) beträgt die mittlere Jahrestemperatur des Meerwassers an der Oberfläche + 4° C., während die mittlere Jahrestemperatur der Luft im südlichen Spitzbergen — 5° C., dagegen die mittlere Jahrestemperatur der Luft unter dem 76. nördl. Breitengrade — 14° C. beträgt.

Während so alle Umstände zusammenwirken, um die Temperatur in Europa zu erhöhen, wirken im nördlichen Asien mehrere Ursachen zusammen, um die Isothermen bedeutend herabzusenken. Die warmen Luftströme, welche, aus dem Becken des Indischen Oceans aufsteigend, die Wärme der Tropen dem inneren und nördlichen Asien zuführen könnten, werden durch die ungeheuren Gebirgsketten im Süden von Asien aufgehalten, während das nach Norden hin allmählich sich verflachende Land den Nord- und den Nordostwinden preisgegeben ist. Während sich Europa nicht weit nach Norden erstreckt, ragt Asien weit in das Nördliche Eismeer hinein, welches hier allen wärmenden Einflüssen entzogen, durch welche die Temperatur der europäischen Meere erhöht wird, fast immer mit Eis bedeckt ist. Ueberall reichen die Nordküsten von Asien bis an die Wintergrenze des Polareises, und die Sommergrenze dieses Eises entfernt sich nur auf kurze Zeit an einigen Stellen von den Küsten; dass aber dieser Umstand die Temperatur bedeutend erniedrigen muss, ist

klar, wenn man bedenkt, wie viel Wärme bei der Schmelzung solcher Eismassen gebunden wird.

Die bedeutende Senkung der Isothermen im Inneren von Nordamerika rührt vorzugsweise daher, dass dieser Continent in der Nähe seiner Westküste seiner ganzen Länge nach von einem mächtigen, von Nord nach Süd streichenden Gebirgswall, dem Felsengebirge und den Cordilleren von Neumexico durchzogen wird, an welchem die vom Grossen Ocean her wehenden Südwestwinde Wärme und Feuchtigkeit verlieren, während umgekehrt der ganze Landstrich zwischen dem Felsengebirge und dem Alleghanygebirge den kalten Nordwinden ausgesetzt ist.

Zu der bedeutenden Senkung an den Ostküsten von Nordamerika, welche gleichfalls nicht von warmen Seewinden getroffen werden, trägt auch noch der Umstand bei, dass sie nicht wie die europäischen Küsten von wärmeren Gewässern bespült sind, sondern dass hier kalte Meeresströmungen von Norden nach Süden ziehen. Eine solche Strömung, aus der Baffinsbay kommend, geht an der Küste von Labrador bis Newfoundland herab, wendet sich dann südwestlich, und lässt sich zwischen dem Golfstrom und der amerikanischen Küste bis zum Cap Hatteras verfolgen. Diese arktische Strömung trägt die Kälte der Polarregionen theils durch die niedrige Temperatur des Wassers selbst, theils durch schwimmende Eisberge in die südlicheren Gegenden.

Auf der südlichen Hemisphäre sind die Isothermen weit weniger gekrümmt als auf der nördlichen, was wohl vorzugsweise darin seinen Grund hat, dass der grösste Theil derselben mit Wasser bedeckt ist.

An den Westküsten von Südamerika macht sich eine Annäherung der Isothermen gegen den Aequator hin bemerklich, wie man dieses sowohl bei den Jahresisothermen als auch bei den Isothermen des Januar und des Juli sehen kann. Es rührt dies daher, dass gerade an diesen Küsten eine von Süden nach Norden gerichtete Meeresströmung die kälteren Gewässer des südlichen Meeres den niederen Breiten zuführt.

Eine ähnliche Strömung im südlichen Theile des Atlantischen Oceans bewirkt, dass auch zwischen Brasilien und Afrika die Isothermen besonders weit nach Norden rücken.

Im Allgemeinen ist, wie auch aus der Tafel S. 516 hervorgeht, die nördliche Hemisphäre vom Aequator an bis zu 45° Breite wärmer als die südliche, und zwar ist der Unterschied am grössten zwischen dem 20. und 25. Breitengrade. Jenseits des 25. Parallel ist die südliche Hemisphäre wärmer als die nördliche. Die Wärmeabnahme vom Aequator nach dem Pole findet über den Continenten weit rascher statt als über dem Meere; dagegen hat Spitaler gefunden, dass trotz der sehr verschiedenen Vertheilung von Land und Wasser auf beiden Hemisphären die mittlere Jahrestemperatur derselben nahezu gleich ist und gegen 15° C. beträgt.

181 **Abweichungen vom normalen Gange der Wärme.** Die periodischen Schwankungen der Lufttemperatur treten nie rein auf, sie

erscheinen stets mehr oder weniger durch unregelmässige Veränderungen alterirt. Wir brauchen nur die thermometrischen Beobachtungsreihen irgend eines Ortes mit Aufmerksamkeit zu verfolgen, um zu finden, wie verschieden der Gang der Wärme von einem Jahre zum anderen ist, wie bedeutend die aus den Beobachtungen gezogene mittlere Temperatur eines Monats in einzelnen Jahren von dem entsprechenden Mittel anderer Jahre sowohl wie von dem allgemeinen Monatsmittel abweicht.

Dove hat die nicht periodischen Aenderungen der Temperaturvertheilung auf der Oberfläche der Erde einer genaueren Untersuchung unterworfen und die Resultate seiner Forschungen in einer Reihe von Aufsätzen niedergelegt, welche in den Jahrgängen von 1838 bis 1846 der Abhandlungen der Berliner Akademie veröffentlicht wurden. Man findet daselbst nicht allein die Resultate seiner mühevollen Studien, sondern auch eine Zusammenstellung des gesammten Beobachtungsmaterials, welches er zusammenbringen konnte, und welches die Basis seiner Untersuchungen bildet.

Ist einmal das allgemeine Mittel der Temperatur für irgend einen Monat an einem bestimmten Orte aus einer möglichst grossen Reihe von Beobachtungsjahren bekannt, so kann man leicht ermitteln, um wie viel die mittlere Temperatur desselben Monats für ein bestimmtes Jahr über oder unter dem entsprechenden allgemeinen Monatsmittel war. Wenn wir z. B. wissen, dass das allgemeine Monatsmittel für den December in Berlin 0,44° ist, dass aber die mittlere Temperatur dieses Monats im Jahre 1829 daselbst nur — 8,66° betrug, so ist klar, dass der December 1829 zu Berlin um 9,10° zu kalt war.

Solche Vergleichungen hat nun Dove in grosser Anzahl zusammengestellt. Die Tabellen auf Seite 526 und 527 geben einen Auszug einer solchen Zusammenstellung für die Jahre 1829, 1834, 1857 u. 1859. Die Zahlen ohne Vorzeichen geben an, wie viel die mittlere Monatstemperatur in den genannten Jahren über, die negativen, wie viel sie unter dem allgemeinen Monatsmittel des Ortes war.

Wir sehen aus dieser Tabelle, dass der December 1829 in Europa sehr kalt war. In Paris war die mittlere Temperatur dieses Monats um 7,09, in Berlin war sie sogar 9,10° unter dem allgemeinen Mittel des Monats December. Diese Abweichung finden wir nun aber keineswegs in gleicher Weise an den übrigen in der Tabelle zusammengestellten Orten. In Petersburg und Kasan war der December 1829 freilich auch noch zu kalt, aber nicht so viel wie in Paris und Berlin, in Irkutsk dagegen finden wir schon einen merklichen Ueberschuss der mittleren Monatstemperatur; ebenso auf der Insel Island, während dieser Ueberschuss in Nordamerika noch bedeutender ist und zu Marietta 4,68° erreicht.

Aehnliche Verhältnisse, wenn auch nicht ganz so ausgezeichnet, finden wir im Januar 1829.

Zu Paris herrschte während des ganzen Jahres 1829 eine zu niedrige Temperatur; zu Berlin haben wir nur in den Monaten Juni und September einen ganz unbedeutenden Ueberschuss an Wärme, während an allen anderen auf der Tabelle verzeichneten Orten dieser Ueberschuss in mehreren Monaten bald mehr oder weniger bedeutend ausfällt. Namentlich zeigt Reykiavig in den Sommermonaten eine zu hohe Temperatur.

Für den Februar 1829 erstreckt sich die zu niedrige Temperatur über alle in unserer Tabelle verzeichneten Orte; der Unterschied vom allgemeinen Mittel der mittleren Februartemperatur ist aber keineswegs überall gleich. In Marietta und in Petersburg war die Kälte am bedeutendsten, während in Reykiavig und in Irkutsk die negative Abweichung nur unbedeutend ist. Von Marietta nach Osten gehend finden wir eine Abnahme der negativen Abweichung; für England weisen Dove's Tabellen sogar eine, freilich unbedeutende positive Abweichung nach. Noch weiter nach Osten zu wächst die negative Abweichung wieder, um in Petersburg ein Maximum von 5,09° zu erreichen und dann wieder bis Irkutsk abzunehmen, wo sie nur noch 1/2 Grad beträgt.

Diese Verhältnisse berechtigen uns wohl zu der Annahme, dass östlich über Irkutsk hinaus im Februar 1829 eine positive Abweichung von der normalen Temperatur stattgefunden habe, dass im östlichen Asien, im westlichen Nordamerika und dem zwischenliegenden Ocean der Februar 1829 zu warm gewesen, und dass also hier der Gegensatz gegen die zu niedrige Temperatur zu suchen sei, welche zu jener Zeit im Osten von Amerika, in Europa und im westlichen Theile von Asien herrschte. Leider fehlt es an Beobachtungen aus jener fast 180 Längengrade umfassenden Gegend, welche unsere Vermuthungen bestätigen könnten.

Einen Gegensatz gegen 1829 bildet das Jahr 1834. Das westliche Europa hat sich fast das ganze Jahr 1834 hindurch eines Ueberschusses an Wärme zu erfreuen, während wir auf der Tabelle für Island schon fast durchgängig negative Vorzeichen sehen. Der Januar 1834 war im ganzen westlichen Europa bedeutend über dem allgemeinen Mittel, während alle auf der Tabelle verzeichneten Orte mit Ausnahme von Paris und Berlin zu viel Kälte hatten.

Der December 1831 war in Nordamerika sehr streng, in Europa dagegen mild, wie man aus folgender Zusammenstellung der Abweichungen von dem entsprechenden Monatsmittel sieht:

Fort Armstrong	— 9,8°
Marietta	— 7,5
Concord	— 6,9
Philadelphia	— 5,2
Reykiavig	— 1,8

Manchester	+ 3,10°
Paris	+ 1,75
Danzig	+ 0,48

In Russland war dann der December 1831 wieder etwas zu kalt.

Im Folgenden ist noch eine Zusammenstellung der Abweichungen der Temperaturen von den Mittelwerthen für vier Monate der neueren Zeit, nämlich der December 1877, Juli 1878, Juli 1879 und December 1879 gegeben *):

		December 1877	Juli 1878	Juli 1879	December 1879
Vereinigte Staaten	Neu-England	+ 4,6°	+ 0,8°	0,0°	— 1,3°
	Südstaaten	+ 1,6	+ 0,6	— 0,2	+ 2,5
	Seenregion	+ 7,0	+ 2,3	— 0,9	+ 3,2
	Oberer Mississippi und unterer Missouri	+ 9,0	+ 1,2	— 5,5	— 2,5 **)
	Minnesota	+ 11,2	+ 1,4		— 6,9 ***)
	Ohio u. Tenessee-Thal	+ 6,3	+ 1,4	— 1,1	+ 2,8
	Felsengebirge	+ 0,4		— 0,8	— 1,6
	Pacifische Küste	+ 0.6	+ 0,6	— 0,9	— 2,9
	Westgrönland	— 1,3	+ 0,2	— 0,3	
	Island u. Faröer	— 0,7	+ 1,2	— 0,9	+ 2,0
	Schottland	0,0	+ 1,1	— 1,0	— 1,5
	Skandinavien	+ 1,6	— 0,8	— 0,1	— 0,4
	Deutsche Nordseeküste u. Niederlande	+ 0,5	— 0,9	— 2,1	— 5,8
	Norddeutsche Ebene	+ 0,5	— 1,3	— 1,3	— 4,3
	Süddeutschland	+ 0,9	— 1,0	— 2,3	— 10,2
	Schweiz	+ 1,1	— 0,9	— 3,7	— 7,2
	Italien	— 0,3	—	—	—
	Südliches Oesterreich	— 0,4	— 0,8	— 1,6	— 4.2
	Mittleres Oesterreich	+ 1,2	— 0,9	— 2,2	— 9,1
	Nördliches Oesterreich	+ 1,1	— 0,9	— 2,4	— 6,7
	Westrussland	+ 0,1	— 3,2	— 2,5	— 2,9
	Centralrussland	— 3,2	— 2,5	— 1,0	— 2,4
	Petersburg	+ 2,1	— 3,9	— 2,8	— 0,2
	Weisses Meer	+ 5,5	— 2,9	— 4,1	— 1,1
	Mittlerer Ural	+ 0,8	+ 0,7	+ 0,5	— 2,3
	Mittlere Wolga	— 1,1	— 1.2	— 0,6	— 2,1
	Untere Wolga	— 3,5	— 1,6	+ 0,5	— 0,1
	Südruss. Steppen, östl. Theil	0,0	— 2,2	+ 1,0	— 1,1
	Südruss. Steppen, west. Theil	+ 1,0	— 2,9	— 1,2	— 4,4
	Krim	+ 3,0	— 2,6	0,0	— 3,8
	Westliches Transkaukasien	+ 1,2	0,0	+ 1,3	+ 0,3
	Mittleres Transkaukasien	+ 1,9	— 0,1	+ 2,5	+ 1,7
	Oestliches Transkaukasien	— 2,4	+ 0,6	+ 1,3	+ 0,7
	Unterer Amur-Darja	— 10,6	+ 1,5	— 0,2	+ 1,5
	Nördliche Kirgisensteppen	— 11,3	+ 2,5	+ 0,8	+ 3,2
	Südliches Westsibirien	— 11,9	+ 2,3	+ 1,2	+ 2,2
	Jenisseisk	— 4,8	+ 1,8	+ 3,7	+ 5,7
	Irkutsk	— 5,4	+ 2,6	+ 1,6	+ 0,1
	Hüttenwerk Nertschinsk	— 0,4	+ 1,2	+ 0,8	+ 2,1
	Nikolajewsk am Amur	— 1,5	— 0,2	+ 1,1	+ 2,5
	Peking	— 2,6	+ 0,7	— 0,2	+ 1,0

*) A. Woeikoff, Die Klimate der Erde, I. Theil. — **) Oberes Mississippi-Thal. — ***) Missouri-Thal.

	Nordamerika		Island	Europa			Nordasien	
	Marietta	Concord	Reykiavig	Paris	Berlin	Petersburg	Kasan	Irkutsk
1829								
Januar	0,6	— 0,9	0,0	— 3,8	— 2,7	— 1,2	— 1,8	1,0
Februar	— 5,3	— 3,3	— 0,2	— 1,2	— 3,5	— 5,1	— 0,9	— 0,6
März	— 3,4	— 2,0	— 0,4	— 1,3	— 1,9	— 3,1	— 0,9	— 0,1
April	— 2,1	— 0,3	0,2	— 0,6	— 0,1	— 2,2	— 1,9	— 1,1
Mai	1,7	1,2	— 0,1	— 0,3	— 2,1	0,9	0,8	— 1,1
Juni	1,1	0,2	0,7	— 0,2	0,5	— 0,3	0,1	— 1,1
Juli	— 0,7	— 0,6	2,4	— 0,7	0,0	2,4	1,8	0,2
August	0,2	— 0,2	3,2	— 1,2	— 0,3	— 0,7	0,2	0,0
September	— 0,6	— 3,6	— 0,1	— 1,4	0,3	1,9	0,3	0,0
October	0,0	— 0,4	— 1,9	— 1,6	— 1,6	— 1,5	0,6	1,8
November	— 2,2	0,0	— 0,2	— 1,8	— 2,9	— 1,8	— 0,3	2,0
December	4,7	3,8	1,6	— 7,1	— 9,6	— 1,0	— 3,6	2,1
1834								
Januar	— 2,5	— 1,9	— 1,9	5,6	6,2	— 3,0	— 3,2	— 0,6
Februar	4,1	2,0	0,1	— 0,5	1,5	0,3	— 5,8	2,4
März	0,0	0,8	0,2	0,5	1,0	2,2	4,5	1,9
April	0,6	1,1	— 0,3	— 1,8	— 1,4	— 0,1	2,1	1,8
Mai	— 1,9	— 2,0	— 1,4	1,3	1,9	0,2	— 0,1	1,8
Juni	0,3	— 0.9	— 2,2	0,6	1,2	— 2,1	0,2	0,9
Juli	1,5	2,5	— 1,4	1,0	4,1	— 0,4	— 2,5	— 0,1
August	0,5	— 0,8	— 2,6	1,2	3,2	2,5	1,6	— 0,2
September	— 0,4	1,1	— 1,6	2,1	1,5	— 0,1	— 0,1	1,1
October	— 1,8	— 0,5	— 1,9	0,0	0,1	— 0,1	2,4	1,8
November	— 0,1	— 1,7	0,0	0,1	1,0	— 0,5	1,9	3,3
December	0,5	— 1,8	2,6	0,0	1,6	1,6	3,0	0,9

	Nordamerika			Europa			Nordasien	
	Sitka	Marietta	Concord	Paris	Berlin	Petersburg	Catherinenburg	Nertschinsk
1857								
Januar	—1,5	—7,0	—4,2	—0,5	—0,2	0,7	2,2	—2,3
Februar	—1,9	4,7	4,5	—1,7	0,0	4,0	—4,9	0,4
März	0,8	—2,5	0,4	—1,0	0,4	4,0	1,1	1,2
April	1,9	—5,4	—0,2	—1,4	—0,1	—0,4	—2,2	1,6
Mai	1,2	—2,6	0,3	0,1	—0,1	—0,5	—2,2	—2,3
Juni	0,1	0,5	—	—0,2	0,9	—1,6	—2,1	—1,6
Juli	—0,4	0,9	1,2	0,1	0,9	—1,9	—0,3	—0,9
August	0,1	0,6	0,0	—1,6	3,1	0,5	1,4	—0,2
September	—0,1	1,3	0,6	0,6	1,9	—1,9	—2,7	0,5
October	0,5	0,0	—0,4	—0,3	2,9	1,7	—2,7	0,4
November	1,8	—1,2	1,7	0,7	—0,9	1,1	—2,7	0,0
December	2,0	4,0	2,9	0,5	3,1	5,1	—0,6	1,6
1859		St. Louis	Philadelphia					
Januar	0,7	0,9	—0,6	1,3	3,2	6,7	—0,2	1,1
Februar	—2,9	1,7	2,3	1,6	2,9	4,4	3,9	—1,0
März	—0,6	2,6	3,9	2,1	3,4	0,9	0,3	1,2
April	0,2	—2,5	—0,9	1,2	—0,9	1,4	5,7	3,0
Mai	—0,9	1,4	1,2	0,2	0,4	2,1	—0,7	1,3
Juni	0,4	—0,6	—0,5	1,0	1,4	2,2	2,8	—0,6
Juli	—0,4	0,6	0,0	4,2	2,8	—1,3	—0,3	—1,6
August	—0,9	0,1	0,7	2,1	2,9	—0,9	—2,0	0,1
September	0,1	—1,1	1,3	2,2	—0,1	—0,4	—0,8	0,2
October	—2,3	—0,6	—1,2	1,7	0,7	—0,8	2,3	—0,3
November	—5,3	2,6	1,9	—0,8	0,0	2,5	2,7	3,4
December	1,6	—5,0	—0,8	—2,2	—2,3	2,5	5,6	—1,9

182 **Gleichzeitige Witterungsverhältnisse verschiedener Gegenden.** Durch derartige Zusammenstellungen und Vergleichungen, wie wir sie im vorigen Paragraphen kennen lernten, wurde Dove zu der Annahme geführt:

1) dass grössere Abweichungen vom normalen Gange der Temperatur nicht local auftreten, sondern dass sie sich gleichzeitig über grössere Strecken der Erdoberfläche verbreitet zeigen, dass dagegen

2) eine zu grosse Kälte oder zu grosse Wärme auch nicht gleichzeitig über die ganze Erde verbreitet ist, sondern dass jedes in irgend einer Gegend auftretende Extrem sein Gegengewicht in einer entgegengesetzten Abweichung an anderen Gegenden findet.

Es ist danach wahrscheinlich, dass stets nahezu dasselbe Quantum Wärme auf der Erdoberfläche verbreitet ist, dass aber die Vertheilung desselben ausser den periodischen Schwankungen auch nicht periodische Aenderungen erleidet.

Uebersieht man die in diesem und dem vorigen Paragraphen mitgetheilten Thatsachen und Gesetze, so ergiebt sich aus ihnen der Schluss, dass anomale Witterungsverhältnisse nicht kosmischen, sondern nur tellurischen Ursprungs sind.

Ein sehr anschauliches Bild der Wärmevertheilung in Europa im Laufe einiger ungewöhnlicher Winter hat Dove durch die Construction der thermischen Isametralen (Berlin 1864) gegeben, wie er die Linien gleicher Abweichung vom normalen Monatsmittel bezeichnet.

Von den sechs Karten mit Isametralen, welche Dove veröffentlicht hat, mögen hier die verkleinerten Copien einiger der interessantesten folgen.

Fig. 1, Tab. 13, stellt die gleichzeitigen Abweichungen vom normalen Monatsmittel für den December 1829 dar. Zu niedrige Temperatur ist durch ausgezogene, zu hohe ist durch punktirte Linien bezeichnet. In ganz Centraleuropa war es zu kalt, das Maximum der Abweichung vom normalen Monatsmittel mit — 9° (Réaumur) fällt aber auf die Linie von Breslau nach Krakau. In Wien, Amsterdam und Wilna war es um 6° zu kalt. In Sicilien und Drontheim herrschte die normale Temperatur, im nördlichen Norwegen und in Lappland dagegen war es etwas zu warm.

Der Februar 1845 war in ganz Europa zu kalt, wie man aus Figur 2, Tab. 13, sieht, das Maximum der Kälte aber mit 7 Grad unter dem Mittel fiel nach Wilna.

Der November 1851, Fig. 1, Tab. 14, war im westlichen Europa zu kalt, im östlichen zu warm.

Fig. 2, Tab. 14, stellt die thermischen Isametralen Europas und des westlichen Asiens für den Januar 1848 dar.

Veränderlichkeit monatlicher Mittel. Von den klimatischen Verhältnissen einer Gegend geben die allgemeinen Monatsmittel noch kein vollständiges Bild. Man erhält dies erst, wenn man den Grad der Veränderlichkeit der Witterungsverhältnisse kennt, wenn man weiss, wie weit sich die monatlichen Mittel einzelner Jahre von dem entsprechenden allgemeinen Mittel entfernen können. Auch auf diesen Punkt hat Dove seine Aufmerksamkeit gerichtet. Er bestimmte für eine grosse Anzahl von Orten die absolute Veränderlichkeit, unter welcher er den grössten Spielraum versteht, innerhalb dessen die mittlere Temperatur der einzelnen Monate während einer möglichst grossen Reihe von Beobachtungsjahren schwankte. So ist z. B. die niedrigste mittlere Januartemperatur, welche seit 1719 im Laufe von 138 Jahren zu Berlin beobachtet wurde, die von 1823, welche — 11,7°, die höchste aber die von 1796, welche + 6,2° betrug; die absolute Veränderlichkeit des Januar für Berlin ist demnach 17,9°. Nach dieser Erläuterung ist die auf den Seiten 532 bis 535 stehende Tabelle grösster Abweichungen monatlicher und jährlicher Mittel verständlich, welche ein Auszug der von Dove gegebenen ist. 183

Die zweite Verticalreihe giebt die Anzahl der Beobachtungsjahre, während welcher die folgenden Differenzen vorkamen.

Aus der näheren Ansicht dieser Tabelle geht unmittelbar hervor:

1) Dass die absolute Veränderlichkeit der Temperatur zwischen den Tropen am geringsten, dass sie aber in den Gegenden der Moussons (Ostindien) bedeutender ist als in der Region der Passate.

2) In der gemässigten Zone, besonders an Orten eines noch nicht überwiegenden Seeklimas, wächst die absolute Veränderlichkeit mit der Annäherung an die kalte Zone, wie sich am deutlichsten durch die Vergleichung von Italien, den Alpen, Deutschland und Nordeuropa ergiebt.

3) Die Nähe bedeutender Gebirge scheint besonders die Veränderlichkeit während der Sommermonate zu steigern, wie sich namentlich aus der Vergleichung der entsprechenden Zahlen für die Alpen und für Deutschland ergiebt.

4) Im Seeklima ist die Veränderlichkeit gering. Entfernt man sich von den Küsten in das Innere der Continente, so nimmt die Veränderlichkeit anfangs zu, dann wieder ab. So ist die Veränderlichkeit in England kleiner als an den benachbarten Küsten des Continents, und hier wieder kleiner als im inneren Deutschland. Im nördlichen Asien ist die Veränderlichkeit wieder weit geringer als in Deutschland.

5) Die grösste Veränderlichkeit findet in den Wintermonaten statt, während in der gemässigten Zone, namentlich in den Gegenden vorherrschender Sommerregen, der September in der Regel der beständigste Monat ist.

Als mittlere Veränderlichkeit bezeichnet Dove den mittleren Werth aller in einem möglichst grossen Zeitraume für den gegebenen Monat vorgekommenen Abweichungen ohne Berücksichtigung des Zeichens derselben. Nach Dove's Berechnungen ist die mittlere Veränderlichkeit für

	Januar	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Septbr.	Octbr.	Novbr.	Decbr.	Mittel
Sibirien und Ural . . .	3,0	2,6	2,2	2,0	1,7	4,3	1,2	1,3	1,3	1,8	2,2	3,1	2,0
Nordöstliches Europa . .	3,2	2,8	2,1	1,6	1,7	1,3	1,5	1,4	1,1	1,5	1,9	2,9	1,8
Baltische Länder . . .	2,1	2,1	1,7	1,2	1,2	1,1	1,3	1,3	0,9	1,2	1,5	2,0	1,5
Inneres Russland . . .	3,1	2,6	2,2	1,8	1,4	1,5	1,6	1,6	1,5	1,5	1,9	3,5	2,0
Nördliches Deutschland .	2,7	2,5	2,0	1,6	1,5	1,1	1,3	1,4	1,1	1,3	1,6	2,6	1,7
Südliches Deutschland .	2,6	2,1	1,7	1,7	1,5	1,2	1,3	1,3	1,2	1,3	1,6	2,3	1,6
Westeuropa	2,3	1,8	1,6	1,3	1,4	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,4	1,9	1,4
Schweiz	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,2	1,1	1,1	1,5	2,0	1,5
Italien	1,4	1,2	1,1	1,2	1,4	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,2
England	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	1,1	1,1	1,4	1,2
Oestliches Amerika . .	1,8	1,9	1,5	1,1	1,1	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,4	1,8	1,3
Inneres Amerika	2,3	2,6	2,1	1,8	1,4	1,2	1,2	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	1,7
Westamerika	2,2	1,9	1,4	0,7	0,8	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8	1,9	1,9	1,2
Polarländer	1,9	1,6	2,2	1,5	1,4	1,1	1,7	1,5	1,2	1,6	1,6	2,0	1,6

Auf der folgenden Seite sind die in Königsberg beobachteten Temperaturmittel für die einzelnen Monate während der Zeit vom Mai 1848 bis April 1893 angegeben. Es zeigt sich aus dieser Zusammenstellung, dass an diesem Orte die geringste Veränderlichkeit im Juli stattfindet, während im Mai die Veränderlichkeit ziemlich gross ist. Das Jahresmittel wechselte zwischen 8,22° und 4,80° C., also um 3,4° C. Es geht hieraus hervor, dass das Jahresmittel der Temperaturen keineswegs so constant ist, wie vielfach angenommen wird.

Temperatur-Mittel in Grad C. für Königsberg i. Pr.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December	Jahr
1848	—	—	—	—	11,7	17,1	16,5	15,2	12,1	8,6	2,7	+1,0	—
1849	— 4,9	+ 0,5	—0,5	4,6	12,4	13,1	15,5	15,0	11,7	7,2	2,6	—5,0	6,02
1850	—11,4	— 0,8	—2,5	6,0	13,6	16,5	17,6	17,8	12,2	7,0	3,5	+1,8	6,78
1851	— 3,1	— 0,7	0,0	8,4	9,3	14,6	16,8	17,0	13,7	10,8	3,5	+2,0	7,69
1852	+ 0,2	— 2,2	—0,4	1,8	11,5	17,6	18,6	18,0	13,7	6,1	2,5	+2,6	7,51
1853	— 0,6	— 3,5	—3,7	3,6	11,2	17,3	17,7	16,2	13,2	9,1	1,4	—3,3	6,56
1854	— 4,5	— 2,2	+1,0	5,2	13,2	14,2	18,9	18,7	12,3	8,6	0,3	+0,1	7,16
1855	— 7,0	—11,3	—0,6	4,4	9,9	16,8	18,8	16,8	13,1	10,3	1,0	—7,4	5,42
1856	— 1,4	— 3,2	—2,4	7,2	10,5	14,9	15,3	14,5	12,5	8,7	—1,1	0,0	6,30
1857	— 3,2	— 3,8	+0,8	5,2	9,5	14,6	16,7	18,9	14,3	9,6	2,0	+2,8	7,29
1858	— 4,2	— 6,6	—1,4	4,3	10,8	16,4	19,4	19,6	14,4	9,5	—2,5	—2,7	6,43
1859	+ 0,4	+ 1,1	+2,9	5,4	13,0	16,7	17,6	19,4	12,8	8,5	2,6	—4,5	7,99
1860	— 0,9	— 3,1	—1,6	7,2	11,2	16,4	17,6	16,3	13,7	6,3	0,1	—4,4	6,56
1861	— 7,4	+ 0,9	+3,3	3,7	8,8	17,4	19,0	16,6	11,8	7,6	3,4	+0,4	7,12
1862	— 7,7	— 6,1	—0,9	4,6	12,6	15,4	15,5	16,2	12,8	8,5	—0,8	—5,7	5,37
1863	+ 1,4	+ 1,5	+2,0	6,7	10,8	15,4	15,0	17,0	14,0	9,9	4,2	+0,7	8,22
1864	— 4,1	— 1,5	+2,2	4,3	6,3	15,7	15,6	13,8	12,0	6,0	—0,5	—4,5	5,44
1865	— 1,7	— 8,2	—2,2	5,0	13,6	11,6	19,4	15,3	12,4	6,9	4,0	+0,4	6,37
1866	+ 1,9	— 1,2	—0,1	7,2	9,0	17,6	15,7	16,0	15,6	6,6	2,3	—0,7	7,50
1867	— 3,1	0,0	—3,2	4,6	7,2	12,7	15,2	15,8	12,3	8,2	1,4	—5,5	5,46
1868	— 5,8	0,0	+1,8	6,8	12,6	15,8	18,8	20,1	13,6	8,4	0,4	+0,5	7,76
1869	— 3,2	+ 1,8	+1,1	7,5	11,2	13,1	16,2	16,4	13,3	7,1	1,5	—1,3	7,07
1870	— 3,3	—10,6	—2,1	4,8	10,6	13,7	17,4	16,5	12,2	6,7	3,5	—9,3	5,00
1871	— 8,3	— 7,9	+2,6	3,5	7,2	13,9	17,6	16,6	10,9	4,0	0,4	—2,9	4,80
1872	— 1,5	— 3,3	+1,7	7,6	14,1	16,9	17,4	16,1	13,6	10,4	5,1	—1,0	8,09
1873	+ 0,8	— 2,9	+2,0	4,0	9,1	15,5	18,0	17,4	12,7	8,5	4,1	+2,2	7,60
1874	0,0	— 1,1	+0,3	5,6	7,0	14,7	17,4	15,0	14,3	9,8	1,3	—2,2	6,86
1875	— 4,4	— 6,4	—2,9	3,0	11,2	16,7	18,4	17,9	12,4	3,9	—1,4	—6,5	5,16
1876	— 6,3	— 1,4	+1,9	7,4	7,6	18,0	18,0	16,7	12,7	7,8	—3,1	—7,4	5,99
1877	— 1,8	— 1,5	—2,0	3,9	9,0	16,0	17,7	16,2	9,9	5,9	5,5	—1,3	6,45
1878	— 2,2	— 0,3	+1,0	8,0	10,6	15,4	15,7	17,4	14,5	9,6	4,1	—0,5	7,79
1879	— 5,4	— 2,1	—1,9	5,3	10,7	15,8	15,7	16,5	14,7	7,6	0,8	—5,3	6,03
1880	— 3,4	— 2,6	—0,5	6,7	10,1	15,6	18,0	17,5	14,0	5,5	3,2	—0,6	6,96
1881	— 7,2	— 6,3	—1,8	3,0	11,2	14,6	17,0	15,1	12,2	4,6	3,4	—0,3	5,70
1882	+ 1,8	+ 1,4	+4,6	6,9	11,5	15,1	18,6	16,8	14,1	5,9	1,2	—2,8	7,92
1883	— 3,2	— 1,2	—3,9	4,5	10,0	16,5	17,7	16,1	13,9	8,1	4,2	+0,9	6,98
1884	+ 1,0	+ 1,5	+1,7	4,2	10,3	14,6	18,2	15,1	14,2	8,0	—0,4	+1,2	7,47
1885	— 3,4	+ 0,7	+1,9	7,0	9,6	15,6	17,8	13,9	12,2	7,8	0,7	—0,6	6,94
1886	— 2,3	— 5,8	—2,7	8,3	11,9	14,8	16,2	16,5	13,5	6,7	4,7	+0,1	6,84
1887	— 1,7	— 1,5	—0,6	6,3	10,8	13,0	17,8	15,2	13,8	6,1	2,6	—1,4	6,71
1888	— 5,1	— 5,7	—5,4	3,8	11,0	14,6	16,0	15,3	12,8	6,8	1,3	—0,6	5,57
1889	— 5,3	— 4,0	—4,1	5,8	15,8	18,2	16,2	15,0	10,3	8,7	3,7	—2,9	6,45
1890	+ 0,5	— 2,5	+2,1	8,4	14,6	14,2	16,8	18,0	13,0	6,5	1,9	—6,2	7,20
1891	— 4,4	— 2,0	+1,1	5,2	11,7	14,3	18,3	15,6	13,4	9,4	0,7	+1,0	7,10
1892	— 4,7	— 2,8	—1,0	4,4	11,0	14,4	15,2	17,0	14,1	7,1	1,6	—3,3	6,10
1893	—13,0	— 4,0	+0,4	4,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittel	— 3,41	— 2,59	—0,26	+5,46	10,81	15,40	17,22	16,53	13,05	7,67	+1,86	—1,83	6,68
Gr. Abw.	14,9	13,1	10,0	6,8	9,5	6,6	4,4	6,3	5,7	6,9	8,6	12,1	3,42

Tabelle grösster Abweichung

		Januar	Februar	März	April	Mai
Die Tropen.						
Calcutta	8	6,5	5,8	4,6	4,0	2,5
Madras	21	4,2	4,0	6,2	9,3	5,5
Rio Janeiro	7	3,3	1,9	2,3	1,6	2,9
Havanna	7	4,2	5,2	2,8	2,8	2,2
Italien.						
Palermo	39	7,4	7,1	4,7	5,9	4,6
Rom	20	5,0	6,7	3,0	4,4	5,7
Nizza	20	5,6	5,0	7,1	6,6	4,5
Mailand	72	10,2	11,2	8,1	6,9	8,0
Mittel		6,8 *)	6,7	6,6	5,8	6,1
Alpen.						
St. Bernhard	21	10,3	8,3	9,3	5,2	4,9
Genf	42	12,2	7,9	7,6	7,4	7,4
Innsbruck	52	14,4	13,0	11,6	10,4	8,1
München	34	13,1	8,5	10,0	8,1	7,3
Mittel		11,1	8,9	8,3	8,1	6,6
Mittleres Europa (Continentalklima).						
Carlsruhe	40	11,7	10,4	11,0	8,3	6,4
Stuttgart	43	17,6	11,4	7,8	10,3	7,1
Prag	15	13,2	11,5	7,9	5,3	6,9
Dresden	10	11,2	8,1	7,9	5,3	6,6
Berlin	138	17,8	13,1	12,6	10,5	9,0
Mittel		11,8	9,8	7,5	5,9	6,8
Mittleres Europa (Seeklima).						
Paris	33	11,9	9,9	7,3	6,3	6,6
Harlem	17	7,4	7,4	5,1	4,1	5,1
Elberfeld	12	7,4	5,4	4,1	3,4	4,8
Hamburg	18	11,6	10,1	7,7	6,8	7,1
Danzig	24	11,3	8,7	7,7	6,7	7,6
Mittel		10,8	8,5	7,2	6,2	6,4

*) Diese Mittel sind nicht aus den darüber stehenden, sondern aus einer grösseren Anzahl von Zahlen abgeleitet.

monatlicher und jährlicher Mittel.

Juni	Juli	August	September	October	November	December	Jahr
Die Tropen.							
2,6	1,8	1,0	2,1	1,5	2,1	2,4	
3,4	4,1	3,2	3,0	2,2	3,4	2,8	2,5
1,6	1,6	3,3	3,0	1,5	2,4	1,6	
1,1	3,0	2,5	2,6	2,4	2,5	1,8	1,8
Italien.							
5,4	4,8	4,0	5,9	4,4	4,9	6,3	2,2
6,6	4,4	4,8	5,7	4,2	5,1	5,6	2,5
9,5	4,9	5,6	4,7	5,4	5,3	5,6	4,4
6,9	5,8	6,6	8,6	6,5	6,5	8,5	3,5
6,5	4,6	5,6	5,3	5,3	6,0	6,6	2,8
Alpen.							
7,1	7,8	4,4	7,1	6,3	10,2	7,9	2,9
7,4	6,3	6,4	5,3	6,4	8,0	9,4	2,8
6,2	8,1	11,2	7,7	9,3	10,6	16,3	5,6
6,5	6,5	8,1	7,2	5,6	6,5	11,5	3,2
6,3	6,2	6,7	5,8	6,4	7,5	11,4	3,2
Mittleres Europa (Continentalklima).							
7,8	6,2	6,6	6,0	8,3	8,3	12,1	2,8
6,9	6,6	7,8	5,9	8,7	6,4	13,4	3,8
3,3	4,6	7,1	3,9	4,8	7,5	14,8	4,1
2,8	6,4	6,4	3,5	4,5	5,4	10,4	3,9
8,5	9,0	8,7	6,5	8,6	10,6	16,8	
4,9	5,9	6,3	4,3	5,6	6,5	12,2	3,2
Mittleres Europa (Seeklima).							
5,8	5,0	5,9	4,8	6,1	6,8	12,1	2,9
5,2	4,8	5,0	3,3	5,2	5,5	10,9	3,3
6,9	4,7	5,9	5,0	4,4	6,0	11,9	2,6
5,4	6,3	6,6	3,9	7,5	5,7	10,4	3,1
7,5	5,2	7,7	5,3	4,8	6,9	11,4	4,5
6,2	5,7	6,6	4,7	5,7	6,8	11,4	3,4

Tabelle grösster Abweichung

		Januar	Februar	März	April	Mai
England.						
London	52	11,8	7,4	7,2	6,1	5,9
Manchester	25	11,0	6,8	4,8	6,9	6,5
Dublin	17	8,4	6,3	7,1	5,8	3,8
Edinburg	11	5,2	4,3	5,2	4,4	2,4
Mittel . .		7,4	6,1	5,2	5,0	4,8
Nordeuropa und Nordasien.						
Stockholm	16	13,2	11,4	8,9	8,0	6,3
Upsala	40	16,4	14,1	14,0	9,6	8,4
Tornea	31	14,6	18,3	12,4	10,0	12,1
Petersburg	14	9,2	11,6	10,2	8,0	6,6
Kasan	8	7,3	10,4	6,7	4,2	6,7
Irkutsk	10	5,6	5,8	6,0	2,6	3,6
Mittel . .		13,1	12,9	10,2	8,7	7,5
Nordamerika.						
Salem	43	8,3	9,5	6,0	5,9	7,7
Marietta	10	8,7	10,6	6,7	7,9	4,5
Montreal	10	4,1	7,5	5,0	7,1	5,3
Mittel . .		7,5	8,2	6,0	6,2	6,0

184 **Säculare Variationen des Klimas.** Die Frage, ob in historischen Zeiten das Klima verschiedener Länder eine merkliche Aenderung erlitten habe oder nicht, könnte nur dann mit Sicherheit beantwortet werden, wenn uns genaue meteorologische Beobachtungen wenigstens aus mehreren Jahrhunderten vorlägen. Bekanntlich aber ist die Erfindung des Thermometers selbst noch ziemlich neuen Datums und erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts hat man angefangen, regelmässig fortgesetzte Beobachtungen über den Gang der Lufttemperatur zu machen.

Glaisher glaubte aus den in London gemachten Beobachtungen eine allmähliche Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur in England nachweisen zu können, indessen hängt die gefundene Erhöhung jedenfalls nur mit der grösseren Ausbreitung der Stadt und der dadurch allmählich ungünstiger gewordenen Lage der Beobachtungsstation zusammen. Buchan hat dagegen eine 94 jährige Reihe von Temperaturbeobachtungen untersucht, die in Schottland angestellt waren, und ist zu dem Resultate gekommen, dass eine Veränderung der mittleren Jahrestemperatur in dieser Zeit nicht stattgefunden hat.

monatlicher und jährlicher Mittel.

Juni	Juli	August	September	October	November	December	Jahr
			England.				
5,3	6,0	5,7	5,3	6,0	6,0	9,2	3,8
6,3	6,7	3,9	5,2	5,4	6,7	6,5	2,8
4,0	3,9	4,9	4,7	5,3	6,2	5,9	3,8
5,2	3,0	4,6	3,7	2,5	4,8	4,4	1,8
5,0	4,4	4,5	4,5	5,2	5,5	6,3	2,7
			Nordeuropa und Nordasien.				
5,9	7,0	7,0	5,1	6,8	7,1	12,6	4,1
7,2	6,9	6,0	6,0	9,3	10,7	13,8	3,9
11,6	9,0	9,6	11,5	10,2	10,6	15,7	1,2
5,6	6,8	6,0	4,5	4,5	6,8	11,5	4,0
5,2	4,2	6,0	3,0	5,6	8,8	13,1	
4,9	3,4	2,2	1,6	2,4	4,0	6,3	
7,2	6,9	7,3	6,7	8,4	9,3	12,1	3,3
			Nordamerika.				
5,6	6,1	5,5	4,9	6,9	5,8	11,6	3,4
4,0	4,0	4,4	5,6	7,5	7,2	12,8	2,9
6,3	3,4	4,9	3,6	4,7	7,2	10,7	3,1
4,8	4,8	4,9	4,4	5,3	5,9	10,2	3,2

Nach Dove weicht die aus der Periode von 1848 bis 1865 abgeleitete mittlere Jahrestemperatur für Berlin nur um $^1/_{100}$ Grad von dem aus 137 Jahren abgeleiteten Mittel ab.

Für weiter zurückliegende Zeiten sind die Temperaturangaben zu unsicher, als dass man sie zur Grundlage solcher Untersuchungen machen könnte; indessen kann man aus den meteorologischen Beobachtungen Tycho Brahe's schliessen, dass wenigstens in den Regen- und Bewölkungsverhältnissen im Sunde während der letzten 300 Jahre keine Veränderung stattgefunden hat.

Derartige sorgfältige Aufzeichnungen finden sich aber äusserst selten; will man daher das Problem einer etwaigen Veränderung des Klimas mehrere Jahrhunderte weit zurückverfolgen, so bleibt nichts übrig, als nach etwaigen Veränderungen der Flora und der Fauna zu forschen.

Aus der Thatsache, dass in Palästina heute noch Weinstock und Dattelpalme neben einander cultivirt werden, wie in biblischen Zeiten, schloss Arago, dass sich das Klima jenes Landes seit 3300 Jahren nicht merklich geändert habe. Das Gleiche hielt Arago auch für Aegypten,

Griechenland und Rom, und **Biot** hielt es auch für China für wahrscheinlich, während manche andere Länder Veränderungen zeigen, welche auf eine **Abnahme** der mittleren Temperatur gedeutet sind.

So ist es z. B. eine Thatsche, dass in manchen Gegenden Frankreichs und Deutschlands vor Jahrhunderten Wein gebaut wurde, in welchen diese Cultur gegenwärtig eingegangen ist. Einen sicheren Schluss auf Verschlechterung des Klimas kann man daraus aber nicht ziehen, denn das Aufgeben des Weinbaues an Orten, welche für denselben weniger geeignet sind und welche nur sehr geringe Weine lieferten, kann auch daher rühren, dass man gegenwärtig bei den so sehr verbesserten Verkehrsverhältnissen mit weniger Kosten guten Wein beziehen, als schlechten bauen kann.

In den Alpen scheinen einige Thatsachen auf Veränderungen des Klimas hinzudeuten. Es ist festgestellt, dass vor einigen Jahrhunderten viele Alpengletscher weniger ausgedehnt waren als gegenwärtig. Ferner ist es eine leider unzweifelhafte Thatsache, dass die obere Grenze des Waldes gegenwärtig um mehrere hundert Fuss niedriger ist als früher. Hoch über der jetzigen Waldgrenze findet man noch Reste alter Wälder, abgestorbene Stämme, mächtige Wurzeln und Holzreste als Zeugen einer früher hier bestandenen kräftigen Vegetation.

Aus dem Vordringen der Gletscher lässt sich übrigens noch kein sicherer Schluss auf eine Erniedrigung der mittleren Temperatur ziehen, da die Lage des unteren Gletscherrandes von vielen zusammenwirkenden Ursachen abhängt, die sich meist einer eingehenderen Untersuchung entziehen. Ist es doch eine Thatsache, dass in den Alpen einige Gletscher vordringen, während andere gleichzeitig im Rückgang begriffen sind. In manchen Jahren sind die Gletscher des Berner Oberlandes sehr merklich zurückgegangen, in anderen vorgerückt, ohne dass die mittlere Jahrestemperatur eine merkliche Veränderung erfahren hätte.

Ebenso wenig kann man aus dem Herabsteigen der oberen Waldgrenze einen sicheren Schluss auf eine Erniedrigung der mittleren Jahrestemperatur ziehen. Als unmittelbare Ursache dieser bedauernswerthen Thatsache muss man vielmehr den Umstand hervorheben, dass die Alpenbewohner bis jetzt so gut wie gar keine Sorgfalt auf die Erhaltung ihrer Wälder verwendeten, dass sie im Gegentheil möglichst bemüht sind, ihre Weiden zu vergrössern. Da nun die Weideplätze meist oberhalb der Wälder liegen, so werden diese zunächst an ihrer oberen Grenze angegriffen, und es bleiben nur einzelne Bäume, die **Wettertannen**, zum Schutze des Viehes stehen. Die Füsse des Rindviehs und die Zähne der Ziegen und Schafe lassen aber keinen jungen Wald mehr aufkommen. Dazu kommt noch, dass einzelne Waldstrecken absichtlich oder durch Zufall abgebrannt werden und dass Lavinen und Stürme vielfache Verheerungen in den ohnehin gelichteten Wäldern anrichten, ohne dass für Nachpflanzung gesorgt wird.

Das Aussterben der höher gelegenen Alpenwälder hat aber auch eine Verkümmerung der übrigen Vegetation zur Folge, indem sie weniger

gegen Winde geschützt ist und Regengüsse den fruchtbaren Boden nun ungehindert wegschwemmen können.

Als Beweis für die Abnahme der mittleren Jahrestemperatur hat man angeführt, dass die Cultur des Oelbaumes früher an den Ufern des Genfer Sees heimisch gewesen sei, während sie jetzt daselbst nicht mehr möglich ist. In einer Abhandlung, welche im 10. Bande des *Bulletin de la société vaudoise des sciences naturelles* unter dem Titel *Notes sur le problème de la variation du climat* erschien und in welcher der in diesem Paragraphen besprochene Gegenstand unter Angabe der Quellen ausführlich besprochen wird, hat aber Dufour nachgewiesen, dass hier ein Irrthum vorliegt. Die Früchte einzelner in Gärten als Curiosität gezogener Oelbäume kamen nie zur vollen Reife.

Als Beweis für die früher am Genfer See betriebene Cultur des Oelbaumes wird angeführt, dass sich in den Archiven von St. Saphorin die Notiz finde, dass dereinst eine Abgabe in Oel geleistet worden sei, welches von in der Umgebung gezogenen Oelbäumen gewonnen worden war. Dufour weist aber nach, dass in alten Urkunden allerdings die Lieferung gewisser Quantitäten Oel erwähnt wird; von Olivenöl ist aber nirgend die Rede, wohl aber wird öfters Nussöl genannt.

In der genannten Abhandlung giebt Dufour von 1840 an, so weit es ausfindig zu machen war, das Datum der Weinlese zu Lausanne und einigen anderen Orten in der Umgebung des Genfer Sees. Die früheste Lese (16. und 17. September) fand in den Jahren 1503 und 1822, die späteste (am 12. November) in den Jahren 1698 und 1816 statt. In der letzten Hälfte des 17. und in den ersten zwei Dritteln des 18. Jahrhunderts war die Weinlese durchschnittlich um ungefähr 12 Tage später als im 16. und in der Hälfte des 17. Jahrhunderts. In der letzten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurde die Lese wieder frühzeitiger, wie sie denn auch in dem gegenwärtigen Jahrhundert durchgängig früher ist, als in den ersten 60 Jahren des vorigen, ohne jedoch so früh zu fallen, wie im 16. Jahrhundert.

Die Variationen der Zeit der Weinlese sind übrigens nicht allein durch meteorologische Verhältnisse, sondern auch durch die Culturart, durch die gepflanzten Traubensorten u. s. w. bedingt. Jedenfalls sind die Variationen der Lesezeit nicht der Art, dass man daraus mit Sicherheit auf eine Veränderung des Klimas schliessen könnte.

Für Grönland hat man an eine Verschlechterung des Klimas in historischer Zeit deswegen gedacht, weil sich daselbst früher normannische Colonien befanden, die im Laufe der Zeit zu Grunde gegangen sind. Indessen ist nicht daran zu zweifeln, dass diese Colonien durch feindliche Ueberfälle der Eskimos zerstört wurden.

Abnahme der Temperatur in höheren Luftregionen. 185

Die Erwärmung der Luft rührt einerseits daher, dass sie einen Theil der sie durchdringenden Sonnenstrahlen absorbirt, andererseits daher, dass

sie mit dem durch die Sonnenstrahlen erwärmten Boden in Berührung ist. Die letztere Wärmequelle ist weitaus die bedeutendste.

Die durch Berührung mit dem Boden erwärmte Luft wird eben durch die Erwärmung ausgedehnt, ihr specifisches Gewicht nimmt ab und deshalb steigt sie in die Höhe, die vom Boden erhaltene Wärme mit sich führend. Allein diese Wärme macht sich in den höheren Luftregionen keineswegs durch eine bedeutende Temperaturerhöhung geltend; denn beim Aufsteigen nimmt die Dichtigkeit der Luft fortwährend ab und die Abnahme der Dichtigkeit ist in Folge der bei der Ausdehnung geleisteten Arbeit von einer fortwährenden Wärmebindung begleitet. Daraus folgt nun, dass die höheren Luftschichten kälter sein müssen als die tieferen.

Dass eine solche Abnahme der Temperatur in den höheren Luftregionen wirklich stattfindet, davon überzeugt man sich, wenn man zu diesen höheren Regionen aufsteigt, mag man sich nun in einem Luftballon erheben oder den Gipfel hoher Berge besteigen.

Die Abnahme der Temperatur bei verticaler Erhebung kann nicht leicht ein regelmässiges Gesetz befolgen, weil die beständigen Luftströmungen, Wolken-, Nebelschichten u. s. w. einen mehr oder weniger störenden Einfluss ausüben.

Gay-Lussac stieg im Jahre 1804 in einem Luftballon bis zur Höhe von 6800 m; während das Thermometer am Boden 31,0° C. zeigte, beobachtete er in jener Höhe die Temperatur von — 9,5° C., also eine Temperaturdifferenz von mehr als 40 Graden. Barral und Bixio, welche am 27. Juli 1850 ungefähr zu gleicher Höhe aufstiegen, gelangten in einer Höhe von 1950 m in eine Nebelschicht, deren obere Grenze erst erreicht wurde, nachdem sie sich bis zu einer Höhe von 6500 m über den Boden erhoben hatten. Nahe an der oberen Grenze dieser Nebelschicht zeigte das Thermometer noch — 10° C., sank aber unmittelbar über derselben auf — 23° C. In einer Höhe von 6800 m zeigte das Thermometer nur noch — 40° C.

Tab. 15 giebt eine vergleichende Uebersicht der thermischen Beobachtungen, welche bei drei der im Jahre 1852 in England unternommenen wissenschaftlichen Luftschifffahrten angestellt worden sind. Die Zahlen auf der rechten und auf der linken Seite der Figur geben die nach Pariser Fuss gemessenen Höhen; die Zahlen, welche auf den schraffirten Streifen stehen, geben die an den entsprechenden Stellen beobachteten Temperaturen in Réaumur'schen Graden an. So sehen wir z. B., dass bei der Luftfahrt vom 17. August in einer Höhe von 11000 Fuss (= 3573 m) die Temperatur von + 2° R. = + 2,5° C., bei der Luftfahrt vom 10. November aber dieselbe Temperatur in einer Höhe von 4000 Pariser Fuss (= 1300 m) beobachtet wurde.

Der besseren Uebersicht wegen sind die Luftschichten, innerhalb deren die Temperatur über 10°, zwischen 10 und 0°, zwischen 0 und — 10° und unter — 10° R. betrug, durch verschiedene Schraffirung unterschieden.

Zahlreiche Luftfahrten wurden in neuerer Zeit von Glaisher, dem Director der meteorologischen Abtheilung der Sternwarte zu Greenwich, zur Erforschung der meteorologischen Verhältnisse der Atmosphäre unternommen. In einer am 5. September 1862 unternommenen Luftfahrt ist er höher aufgestiegen als irgend ein Mensch vor ihm, denn er erreichte eine Höhe von 11000 m oder 36630 Pariser Fuss. Bei dieser Luftfahrt fand man in einer Höhe von

0 m	15° C.
1600	5
3218	0
6437	— 13
8000	— 19
11000	— 24

In einer Höhe von 8000 m machten sich die Eindrücke der verdünnten Luft und der niedrigen Temperatur auf Glaisher und seinen Gefährten Coxwell bemerkbar, denn in noch grössere Höhe aufsteigend konnten sie die Instrumente nicht mehr mit Sicherheit ablesen und nur eine mit grösster Anstrengung abgelesene Barometerbeobachtung constatirte, dass der Ballon die ungeheure Höhe von 11000 m erreicht hatte. Hier verlor Glaisher seine Kräfte, er sank im Schiffchen des Ballons zusammen. Coxwell gelang es unterdessen, durch Oeffnen des Ventils den Ballon zum Sinken zu bringen und in einer Höhe von 7000 m, wo nun eine Temperatur von — 19° herrschte, wurden wieder Beobachtungen gemacht. Das mitgenommene Minimumthermometer zeigte, dass die niedrigste Temperatur, in welcher sich der Ballon befunden hatte, — 24,4° C. war.

Glaisher's Luftfahrten haben zunächst bewiesen, dass, wie man wohl erwarten konnte, die Temperaturabnahme in den höheren Luftschichten keineswegs eine regelmässige ist; ja es wurden Fälle beobachtet, dass innerhalb gewisser Grenzen bei wachsender Erhöhung eine Zunahme der Temperatur beobachtet wurde. So nahm am 12. Januar 1864 die Temperatur bis zu einer Höhe von 1300 m zu und erst bei noch grösserer Erhebung nahm sie wieder ab. Am 6. April 1864 blieb die Temperatur bis zu einer Höhe von 100 m unverändert 7 bis 8° C. Von da bis zu einer Höhe von 1200 m nahm die Temperatur bis auf 0° ab. Die gleiche Temperatur von 0° fand sich in einer Höhe von 2500 m, die Luftschicht von 1200 bis zu 2500 m Höhe war aber über 0° warm.

Ferner ist es klar, dass die Abnahme der Temperatur abhängig sein muss von der Bodenbeschaffenheit der Erdoberfläche, und so geben denn häufig diejenigen Beobachtungen, welche in Luftballons angestellt sind, wesentlich andere Resultate als diejenigen, welche in Berggegenden gewonnen wurden. Mendeleef hat versucht, aus solchen Beobachtungen Glaisher's, welche unter besonders günstigen Umständen auf Ballon-

fahrten ausgeführt wurden, eine einfache Relation zwischen der Abnahme des Luftdruckes und derjenigen der Temperatur abzuleiten, und ist dabei auf empirischem Wege zu einer Formel gekommen, welche sich den Beobachtungen recht gut anschliesst. Bezeichnet nämlich

t_0 die Temperatur der unteren Station,
t_h diejenige der oberen Station,
p_0 den Luftdruck bei der unteren Station,
p_h denjenigen bei der oberen Station,

so fand Mendeleef, dass die Grösse

$$\frac{t_h p_0 - t_0 p_h}{p_0 - p_h} = C$$

gleich einer Constante sei. Hieraus ergiebt sich:

$$t_h = C + (t_0 - C)\,\frac{p_h}{p_0}.$$

Es wird demnach $t_h = C$, wenn $p_h = 0$ ist, d. h. C ist diejenige Temperatur, welche an der oberen Grenze der Atmosphäre stattfindet, wo der Luftdruck gleich Null ist. Für diese Temperatur C fand Mendeleef den Betrag von -36^0 C., dagegen Woeikoff aus Beobachtungen, welche bei einer Luftschifffahrt Rykatschef's bei Petersburg unter ganz besonders günstigen Umständen ausgeführt wurden, zu -42^0 C., und dieser Werth dürfte wohl nach den bis jetzt vorliegenden Beobachtungen der zuverlässigste sein. Es sei also z. B.:

$$t_0 = +\ 10^0\,\text{C.}$$
$$p_0 = 760\,\text{mm},$$
$$p_h = 700\,\text{mm},$$

also:

$$\frac{p_h}{p_0} = \frac{700}{760} = 0{,}921,$$

so haben wir:

$$t_h = -42^0 + 52^0 \,.\, 0{,}921$$
$$= -42^0 + 47{,}9^0 = +5{,}9^0;$$

die Temperaturabnahme beträgt also für die angenommene Veränderung des Luftdruckes $4{,}1^0$ C. Wäre $t_0 = -10^0$ C., so erhielten wir:

$$t_h = -42^0 + 32^0 \,.\, 0{,}921$$
$$= -42^0 + 29{,}5^0 = -12{,}5^0,$$

also eine Temperaturabnahme von $2{,}5^0$ C. Es folgt hieraus, was auch durchaus mit den Beobachtungen übereinstimmt, dass im Winter die Abnahme der Temperatur mit der Höhe geringer ist, als im Sommer.

Auf hohen Bergen zeigt schon die Veränderung der Vegetation die Abnahme der Temperatur an: je höher man steigt, desto mehr nimmt

die Vegetation den Charakter kälterer Himmelsstriche an; am auffallendsten zeigt sich dieser Wechsel in den Tropen; besonders grossartig erscheint er aber an den ungeheuren Gebirgen Südamerikas, wo man in einem Tage aus den Wäldern von Palmen und Bananen bis zu den Grenzen des ewigen Schnees aufsteigen kann.

So finden wir denn auch manche Alpenpflanzen im höchsten Norden Europas wieder, wie z. B. *Dryas octopetala*, welche auf Nowaja Semlja ihre lieblichen Blüthen ebenso schön entwickelt, wie auf den duftigen Alpenmatten.

Wie in der Andeskette und den mexicanischen Gebirgen die mittlere Temperatur mit der Höhe über der Meeresfläche abnimmt, übersieht man aus folgender von Humboldt gegebenen Tabelle:

Höhe über der Meeresfläche in Pariser Fuss und Metern	Mittlere Temperatur	
	Cordilleras de los Andes	Mexicanische Gebirge
0	27,5° C.	26,0° C.
3000 (975 m)	22,0	19,8
6000 (1949 m)	18,0	18,0
9000 (2924 m)	14,1	13,8
12000 (3898 m)	7,0	7,5
15000 (4873 m)	1,5	1,0

Da sich in der heissen Zone die Temperatur der Luft im Laufe eines Jahres nur wenig ändert, so kann man sich von der Temperatur in verschiedenen Höhen der Andeskette die beste Vorstellung machen, wenn man sie mit der mittleren Temperatur gewisser Monate in höheren Breiten vergleicht. So findet man in den Ebenen des Orinoco täglich eine Temperatur, welche noch um 5° C. höher ist, als die mittlere Temperatur des Monats August in Palermo; in Popayen, 1750 m über dem Meere, findet man die Temperatur der drei Sommermonate in Marseille; zu Quito die Temperatur von Paris während der letzten Hälfte des Mai; in den Paramos (3600 m) die Temperatur von Paris während der ersten Hälfte des April.

Man kann sich an den Abhang grosser Gebirgsmassen isothermische Linien gelegt denken, welche mehr oder weniger als horizontale Curven erscheinen werden. So zieht sich um den Fuss der Andeskette eine Isotherme von 27,5° C. Da wo eine in der Höhe von 1950 m gedachte Ebene in die Masse der Andeskette einschneidet, befindet sich ungefähr die Isotherme von 17,5° C. u. s. w.

Die Isotherme von 0° wird an der Andeskette durch eine Reihe von einander getrennter, in sich geschlossener Curven, welche um die isolirten Schneekuppen herumziehen, repräsentirt sein.

So folgen sich denn hier in verticaler Richtung in ganz kurzen Entfernungen von einander die Isothermen in gleicher Ordnung, wie man sie durchschneidet, wenn man von dem Aequator bis in die Polargegenden wandert.

Wie die Isothermen in den Alpen über einander liegen, zeigt die von Schlagintweit (Poggendorff's Annalen, Bd. 82) entlehnte Tab. 18, in welcher je zwei benachbarte horizontale Linien einen Höhenunterschied von 1000 Fuss bezeichnen.

Die Abnahme der mittleren Jahrestemperatur, welche einer bestimmten Höhenänderung in den Bergen entspricht, hängt von der Stärke der Bestrahlung und manchen anderen Verhältnissen ab. Die Temperaturänderung für 100 m. Höhendifferenz hat sich z. B. in Graden nach Celsius folgendermaassen[1] ergeben:

Quito	0,45°
Antisana	0,60
Ceylon	0,66
Nilghiris (Süd-Indien)	0,65
Süd-China	0,74
S.-E. Himalaya	0,59
N.-W. „	0,51
Felsengebirge Nordamerikas	0,63
Kaukasus	0,43
Schweiz	0,52—0,58

Im Mittel kann man annehmen, dass für eine Höhenzunahme von 100 m die Temperatur um 0,58° C., oder für 172 m um 1° C. abnimmt, doch ist die Unsicherheit dieser Zahl ziemlich bedeutend. Wenn es darauf ankommt, die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes auf die entsprechende Temperatur des Meeresniveaus zu reduciren, so kann man sich, wenn weitere Daten nicht vorliegen, dieser Zahl bedienen, welche im Mittel aus Beobachtungen auf Bergen abgeleitet ist; handelt es sich aber um geringe Höhen über dem Meeresniveau, so wird die Annahme, dass für 200 m Höhenunterschied die Temperatur um 1° C. sich ändert, der Wahrheit im Allgemeinen näher kommen.

Kennt man nun für eine Gegend die Höhendifferenz, welche einer Temperaturerniedrigung von 1° C. entspricht, so kann man aus der mittleren Temperatur eines höher gelegenen Ortes annähernd genau die mittlere Temperatur berechnen, welche sich unter sonst gleichen Umständen im Niveau des Meeres finden würde; dividirt man nämlich mit dem Höhenunterschiede, welcher einer Höhendifferenz von 1° C. entspricht, in die Höhe des Beobachtungsortes, so findet man, um wie viel Grade die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres höher sein würde. So liegt z. B. das Hospiz auf dem St. Bernhard 2478 m über dem

[1]) Nach Woeikoff.

Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur ist also um $\frac{2748}{172} = 14{,}4^0$ C. niedriger als am Meeresspiegel; da aber die mittlere Temperatur auf dem

Fig. 290.



St. Bernhard $1{,}8^0$ C. ist, so ergiebt sich für die mittlere Temperatur im Niveau des Meeres $12{,}6^0$ C.

Genf liegt 408 m über dem Meeresspiegel, seine mittlere Temperatur $9{,}3^0$ C. ist demnach $\frac{408}{172} = 2{,}4^0$ C. niedriger als sie sein würde, wenn Genf im Niveau des Meeres läge; seine Temperatur würde also für diesen Fall $9{,}3^0 + 2{,}4^0 = 11{,}7^0$ C. betragen.

Die mittlere Temperatur der südwestlichen Schweiz, auf den Meeresspiegel reducirt, wäre demnach $11{,}7^0$ bis $12{,}6^0$ C.

Die Isothermen auf den Karten Tab. XXXVI bis XLI, sowie die Isotheren und Isochimenen auf der Karte S. 506 sind so gezogen, wie diese Linien laufen würden, wenn alle Orte in der Höhe des Meeresspiegels lägen; die Temperatur der verschiedenen Orte ist also auf das Niveau des Meeres reducirt.

In Ländern, welche von Gebirgsketten namhafter Höhe durchzogen sind, ist der Verlauf der Isothermen natürlich ein ganz anderer, als er nach den Andeutungen der in §. 175 besprochenen Isothermenkarten sein würde, wie man dies z. B. aus dem Kärtchen Fig. 290 ersieht, welches die Jahresisothermen für den österreichischen Staat und benachbarter Länder nach Réaumur'schen Graden darstellt. Dieses Kärtchen, welches dem 3. Hefte von Petermann's Mittheilungen für 1864 entnommen

ist, lässt den Einfluss des Alpensystems auf den Verlauf der Isothermen deutlich hervortreten.

Der Verlauf der Isothermen in gebirgigen Ländern wird der Natur der Sache nach einige Aehnlichkeit mit dem Verlauf der Isohypsen (Linien gleicher mittlerer Höhe über dem Meeresspiegel) haben, und zwar wird diese Aehnlichkeit um so mehr hervortreten, je grösser der Maassstab der Karten gewählt ist, je mehr man also bei der Darstellung der Höhenschichten sowohl als auch der Isothermen ins Detail eingehen kann.

186 **Temperaturschwankungen in höheren Luftregionen.** Für Gebirge, welche nicht bedeutend ausgedehnte Hochebenen bilden, sondern vorzugsweise durch hohe Kämme und Gipfel gebildet werden, wie dies z. B. für die Alpen der Fall ist, sind die Temperaturschwankungen in der Höhe weit geringer als in der Tiefe, weil isolirte Berge und Bergreihen auf die Temperatur der höheren Luftregionen nur einen unbedeutenden Einfluss ausüben können, und weil die periodischen Temperaturschwankungen des Bodens in der Ebene, welche sich zunächst den unteren Luftschichten mittheilen, in der Höhe in ihrer Wirkung schon abgeschwächt sind, ehe sie merklich werden.

So fand z. B. Kämtz auf dem Rigi als Mittel aus einer Beobachtungsreihe von mehreren Wochen die Differenz des täglichen Maximums und Minimums = 3,8° C., während diese Differenz zu Zürich gleichzeitig 9,5° C. betrug.

Auf dem St. Bernhard beträgt (Tab. S. 510) die Differenz zwischen den mittleren Temperaturen des wärmsten und des kältesten Monats nur 15,2° C., während für Genf dieser Unterschied auf 18,9° C. steigt.

So wurde z. B. ferner auf dem Pikes Peak in den Felsengebirgen (4314 Meter) in fünf Wintern keine niedrigere Temperatur gemessen als — 38,3° C., während in Denver am Fusse des Gebirges (1606 Meter) in derselben Zeit die Temperatur bis auf — 33,9° C. fiel, also im Minimum nur um 4,4° höher war; im Sommer dagegen kommen dort weit grössere Temperaturdifferenzen vor. Im Mittel ist die Temperatur auf dem Pikes Peak im Januar um 12° C., im Juli um 18° C. und im Laufe des ganzen Jahres um 17° C. niedriger als in Denver.

Da nun die Schwankungen der Temperatur benachbarter, aber ungleich hoch gelegener Orte einander nicht parallel gehen, so ist klar, dass die Temperaturdifferenz zwischen zwei solchen Orten nicht constant bleiben kann, dass sie mit der Jahreszeit sich ändert. So beträgt die Differenz der mittleren Januartemperatur für Genf und den St. Bernhard nur 8,9° C., während der Unterschied der mittleren Julitemperatur 12,6° C. ist.

Daraus folgt dann auch, dass die Höhe, um welche man sich durchschnittlich erheben muss, damit die Temperatur um 1° C. sinkt, nicht für alle Zeiten des Jahres dieselbe ist; sie ist grösser im Winter, kleiner im Sommer.

Die Einwirkung des erwärmten Bodens kann sich nur nach und nach auf die höheren Luftschichten erstrecken. Es ist also immer eine mehr oder weniger bedeutende Zeit nöthig, bis sich die in der Tiefe stattfindenden Temperaturschwankungen in grössere Höhen fortpflanzen; dadurch aber wird nothwendiger Weise die Zeit des täglichen und des jährlichen Maximums verschoben, und zwar muss es auf den Höhen später eintreten als im Thal. Den Beobachtungen von Kämtz zufolge findet in der That in den Sommermonaten auf dem Rigi (1800 m hoch) das Maximum der Temperatur erst um 5 Uhr Nachmittags statt.

Ebenso findet eine Verspätung des jährlichen Temperaturmaximums auf hohen Bergen statt. Während in Genf der Juli entschieden der heisseste Monat ist, ist auf dem St. Bernhard die mittlere Temperatur des Juli und des August fast gleich; es ist also offenbar die Zeit der grössten Wärme gegen den August hin verschoben.

Bei plötzlich eingetretener strenger Winterkälte, namentlich in der Gegend der barometrischen Maxima, kommt es öfters vor, dass es an höher gelegenen Orten wärmer ist als an tiefer gelegenen. So stand zu Dresden das Thermometer am 23. Januar 1823 auf — 34° C., während es auf dem Königsstein nur — 21° C. zeigte. Am 22. Januar 1850 fiel das Thermometer auf dem Brocken nur auf — 13° C., während es auf der umgebenden Niederung auf — 25° C. fiel.

Noch ein anderer Umstand veranlasst manchmal, dass es in der Höhe wärmer ist als in der Tiefe, wenn nämlich bei windstillem Wetter die Thäler mit Nebel bedeckt sind, während sich die Höhen des Sonnenscheins erfreuen, wie dies in Gebirgsgegenden im Spätherbst und im Winter öfters der Fall ist. So ist z. B. das Aarethal bei Solothurn in den letzten Monaten des Jahres oft Wochen lang in Nebel gehüllt, während man von der Höhe des Weissensteins bei herrlichem Sonnenschein das wogende Nebelmeer übersieht, aus welchem einzelne Anhöhen gleich Inseln hervortauchen, während im Süden die lichten Alpenfirnen diese einförmige Nebelfluth begrenzen.

Vergleicht man an einem solchen Nebeltage die Temperatur der meteorologischen Station Solothurn mit der der Station Weissenstein, so findet man letztere namhaft höher. Am 9. December 1863 um 1 Uhr Nachmittags war z. B. die Lufttemperatur zu Solothurn + 0,2° C., auf dem Weissenstein aber + 7° C.

Eine hiermit zusammenhängende Erscheinung besteht darin, dass Pflanzen häufiger in Thälern als auf Hügeln dem Erfrieren ausgesetzt sind, denn bei windstillem Wetter lagern sich die kältesten Luftschichten vorzugsweise in den am niedrigsten gelegenen Gegenden.

Während für grössere Höhendifferenzen die höheren Luftschichten nur ausnahmsweise wärmer sind als die tieferen, steigt die Temperatur der Luft meist, wenn man sich in den untersten Luftschichten vom Boden aus bis zu einer gewissen Höhe erhebt. So fand z. B. Prestel (Jelinek, Zeitschrift für Meteorologie, 2. Bd.) für Emden als Resultat

langjähriger Beobachtungen folgende Werthe der mittleren Monatstemperatur der Luftschichten, welche sich 1″, 17′ 3″ und 28′ 4″ über dem Boden befinden:

	1″	17′ 3″	28′ 4″
Januar	— 0,27° R.	+ 0,11° R.	— 0,01° R.
Februar	+ 0,49	0,94	+ 0,94
März	2,13	2,71	2,85
April	5,20	5,98	6,21
Mai	8,48	9,47	9,76
Juni	11,52	12,50	12,88
Juli	12,53	13,54	13,85
August	12,52	13,63	13,93
September	10,24	11,20	11,48
October	7,10	7,92	8,03
November	3,15	3,61	3,58
December	1,13	1,46	1,44

In einer Höhe von 17′ bis 28′ ist also die mittlere Temperatur aller Monate höher als die unmittelbar auf dem Boden aufliegende Luftschicht.

Pictet fand zu Genf bei stillem, heiterem Wetter, 2 bis 2½ Stunden nach Sonnenaufgang, die Temperatur der freien Luft in einer Höhe von 85 Fuss über dem Boden gleich der in einer Höhe von 5 Fuss. Mit steigender Sonne stieg dann das untere Thermometer rascher als das obere bis zur heissesten Tageszeit, wo das untere Thermometer ungefähr 2° höher stand als das obere. Nachher nahm die Differenz der beiden Thermometer bis kurz vor Sonnenuntergang wieder ab, während in der Nacht das obere Thermometer höhere Temperaturen angab.

Bei ganz bedecktem Himmel, bei dichtem Nebel oder bei heftigem Winde war der Stand der beiden Thermometer der gleiche.

187 **Temperaturverhältnisse der Hochebenen.** Ein isolirter, hoch in die Luft hineinragender Bergkegel oder ein Bergkamm wird die höheren Regionen der Atmosphäre nicht merklich erwärmen können, weil die Winde in jedem Augenblicke nur kalte Luftmassen an ihm vorbeiführen. Eine Hochebene von bedeutendem Umfange aber kann sich unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, indem sie von einer weniger dichten und weniger hohen Luftschicht bedeckt ist als die tieferen Gegenden, weil also die Sonnenstrahlen, welche eine Hochebene treffen, durch Absorption in der Luft weniger Wärme verloren haben als die, welche zur Tiefe gelangen. Eine Hochebene kann also auch einen merklichen Einfluss auf die Erwärmung der höheren Luftregionen ausüben, welche über ihr schweben und welche eben wegen

der grösseren Ausdehnung des Plateaus längere Zeit mit dem erwärmten Boden in Berührung bleiben.

Unter sonst gleichen Umständen muss es demnach auf Hochebenen wärmer sein als auf isolirten Berggipfeln von gleicher Höhe. In den mexicanischen Gebirgen unter dem 19. Grade nördlicher Breite findet sich die Schneegrenze in einer Höhe von 4400 m und alle phanerogamische Vegetation hat hier selbstverständlich aufgehört, während in Peru bei gleicher südlicher Breite in grösserer Höhe eine zahlreiche ackerbauende Bevölkerung wohnt; Potosi liegt 4000 m über dem Meeresspiegel, die Schneegrenze liegt hier in einer Höhe von 5960 m. Dies erklärt sich nur durch die bedeutende Ausdehnung und Höhe der Hochebenen Perus und Bolivias. Das Plateau, in dessen Mitte der Titicaca-See liegt, erhebt sich zwischen zwei Gebirgsketten bis zu einer Höhe von mehr als 4000 m; bei einer Breite von 60 geographischen Meilen erstreckt es sich vom 16. bis zum 20. Grade südlicher Breite, so dass es eine Oberfläche von 3600 Quadratmeilen hat. Die Plateaus der Andes in der Nähe des Aequators haben höchstens eine Oberfläche von 10 Quadratmeilen, und die Höhe der mexicanischen Hochebene beträgt nur 1900 bis 2600 m.

Ein anderes Beispiel bietet die Hochebene von Tibet und der chinesischen Tartarei. In einer Höhe von 3800 m wird hier in einer Breite von 32° noch Weizen mit Erfolg gebaut, die Cultur der Gerste steigt noch weit höher hinauf, während auf dem südlichen Abhange des Himalaya in den Thälern des Ganges schon in einer Höhe von 3100 m alle Cultur aufhört; ja selbst unter dem Aequator auf den Plateaus von Quito und Cajamarca ist die Grenze der Cultur des Weizens 750 m tiefer als in den Hochebenen von Tibet.

Während sich die Hochebenen unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen stark erwärmen, ist natürlich auch aus demselben Grunde der Wärmeverlust, den sie durch die nächtliche Strahlung erleiden, viel bedeutender als in der Tiefe. Auf der Hochebene von Cajamarca in Peru, wo in einer Höhe von 1400 m die mittlere Temperatur 20° C. ist, erfriert doch der Weizen häufig des Nachts. Humboldt sah hier bei Tage im Schatten das Thermometer auf 31° C. steigen, während es vor Sonnenaufgang nur 10° C. gezeigt hatte.

Auf den Hochebenen sind also die täglichen Schwankungen der Temperatur, und, wenn sie weiter vom Aequator entfernt liegen, auch die jährlichen, viel grösser als unter sonst gleichen Umständen in der Tiefe; so hat z. B. die Hochebene von Tibet sehr heisse Sommer, obgleich die mittlere Jahrestemperatur ziemlich niedrig ist (die mittlere Temperatur des Monats October fand Turner 7° C., und dies ist so ziemlich genau auch die mittlere Jahrestemperatur), weil der Winter um so kälter ist. Auf der Nordseite des Himalaya liegen die Culturgrenzen und die Schneegrenze nicht etwa deshalb höher als auf dem südlichen Abhange, weil die mittlere Jahreswärme höher, sondern weil bei der ungleichmässigeren Wärmevertheilung der Sommer auf der nördlichen

Abdachung heisser ist, und dann auch, weil auf dem Nordabhang viel weniger Schnee fällt als auf der Südseite.

188 **Die Schneegrenze.** Die Temperaturabnahme in den höher über dem Meeresspiegel gelegenen Luftschichten wird dadurch besonders auffallend nachgewiesen, dass auf hohen Gebirgen der Schnee selbst in den Sommermonaten nicht wegschmilzt, dass diese Gipfel Jahr aus Jahr ein mit Schnee bedeckt bleiben. Im Vorübergehen ist der Grenze des ewigen Schnees in den Andes von Südamerika bereits Erwähnung geschehen, wir wollen jedoch diesen Gegenstand noch einer ausführlicheren Betrachtung unterwerfen.

Unter der Grenze des ewigen Schnees oder kurz der Schneegrenze versteht man diejenige Höhe, über welche hinaus der Schnee auf den Abhängen der Gebirge, welche nicht allzu steil sind, so dass er überhaupt auf denselben liegen bleiben kann, selbst in der heissesten Jahreszeit nicht vollständig wegschmilzt.

Solche Jahr aus Jahr ein mit Schnee bedeckte Abhänge werden Schneefelder genannt.

Im Allgemeinen wird natürlich die Schneegrenze um so tiefer gegen den Meeresspiegel herunter rücken, je mehr man sich vom Aequator aus den Polen nähert; doch ist ihre Höhe keineswegs allein durch die geographische Breite eines Ortes bestimmt, sondern sie wird durch mancherlei locale Verhältnisse auf das Mannigfaltigste modificirt.

Die folgende Tabelle enthält eine Zusammenstellung der Höhe der Schneegrenze in verschiedenen Gegenden der Erde.

Gebirge	Breite	Untere Grenze des ewigen Schnees Meter	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in der gleichen Gegend	
			des ganzen Jahres	des heissesten Monats
Spitzbergen	77° N.	450	− 8° C.	+ 4° C.
Ostgrönland	74	1000	−12	5
Nordcap	71	720	+ 2	10
Finnmarken	70	950	0	13
Island	65	940	+ 3	9
Nördlicher Ural	64	1460	− 2	17
Norwegen, im Innern	60—62	1560	+ 4	16
Kamtschatka	56	760	0	15
Altai	50	2140	4	24
Alpen	$45^3/_4$—46°	2710	11	18
Kaukasus (Elbruz)	43° 21′	3500	14	22
Pyrenäen	$42^1/_2$—43°	2890	15	24
Aetna	$37^1/_2$	2910	18	26

Gebirge	Breite	Untere Grenze des ewigen Schnees Meter	Mittlere Temperatur im Niveau des Meeres in der gleichen Gegend	
			des ganzen Jahres	des heissesten Monats
Himalaya, nördl. Abhang . . .	28° N.	5300	. . . .	. . . .
„ südl. Abhang . . .	28	4920	20° C.	26° C.
Mexico	19	4520	25	28
Sierra Nevada di Merida . . .	8° 5′	4550	28	28
Vulcan von Tolima	4,46	4670	. . . .	. . . .
Quito	0,0	4980	28	28
Cotopaxi	1° S.	4627	26	26
Chimborazo	2	4850	24	26
Bolivia	16	5230	20	22
Peru	20	5750	20	23
Nord-Chile	24	5100	18	22
Mittel-Chile	36	2580	13	18
Süd-Chile	40	1710	12	16
Maghellanstrasse	54	1200	6	10

Wie ungleich die Höhe der Schneegrenze auf den Gebirgen verschiedener Gegenden ist, wird durch Fig. 291 (a. f. S.) anschaulich gemacht, in welcher die vorzüglichsten Höhen von Südamerika, Asien und Europa in Gruppen zusammengestellt sind. Die Lage der Schneegrenze ist durch die hier beginnende hellere Schraffirung zu erkennen. Die den durchlaufenden horizontalen Linien entsprechenden Höhen (in Metern ausgedrückt) sind am rechten Rande der Figur beigesetzt.

Die erste Gruppe links stellt die südamerikanischen Gebirge dar, und zwar ist Nr. 1 der Aconcagua, Nr. 2 der Sorata, Nr. 3 der Sahama, Nr. 4 Chimborazo.

Nr. 5 ist der Kilimandjaro, und dem Himalayagebirge gehören die Gipfel Nr. 6 (Dapsang) und Nr. 7 (Gaurisankar) an, während Nr. 8 den Elbruz im Kaukasus darstellt. Die linke Seite der Himalayagipfel entspricht dem nördlichen, die rechte Seite dem südlichen Abhang, und man sieht bei dem Gaurisankar, dass die Schneegrenze auf dem nördlichen Abhange höher liegt als auf dem südlichen. Beim Elbruz dagegen bezeichnet die linke Seite den östlichen, und die rechte Seite den westlichen Abhang.

Die übrigen Gipfel in unserer Figur entsprechen europäischen Gebirgen, und zwar Nr. 9 dem Montblanc, Nr. 10 den Pyrenäen (Pic d'Aneto), Nr. 11 dem Sulitelma und Nr. 12 dem Horn-Sund-Pic auf Spitzbergen.

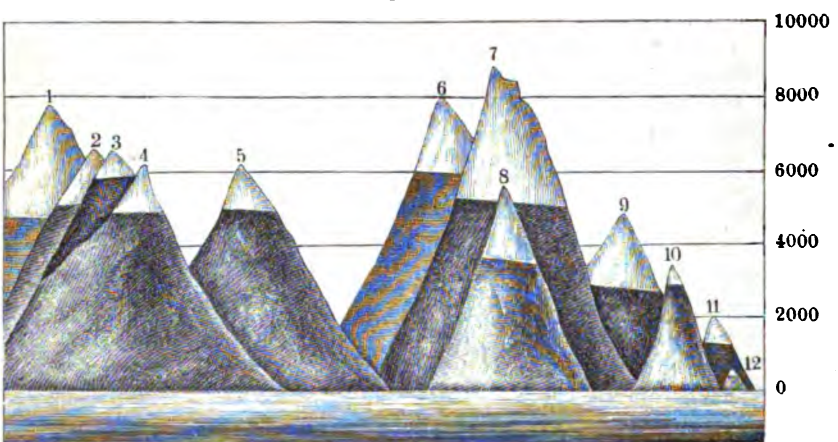
Man glaubte früher, dass sich die Grenze des ewigen Schnees stets in solchen Regionen finden müsste, wo die mittlere Jahrestemperatur 0° C. ist. Wenn es so wäre, so müssten alle Länder, deren mittlere

Jahrestemperatur unter Null ist, beständig mit Schnee bedeckt sein, während wir doch z. B. wissen, dass selbst zu Jakutzk, bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 11,1° C., noch Cerealien gebaut werden.

Die Grenze, bis zu welcher selbst im Sommer der Schnee nicht wegschmilzt, kann also nicht ohne Weiteres aus der mittleren Jahrestemperatur eines Ortes abgeleitet werden, sie hängt nicht sowohl von der mittleren Jahreswärme, als vielmehr von der Vertheilung der Wärme auf die verschiedenen Jahreszeiten ab.

In Jakutzk ist die mittlere Temperatur des heissesten Monats 18,8° C. Bei einer solchen Wärme muss der Schnee wegschmelzen, der Winter mag noch so kalt gewesen sein. Wenn zu Jakutzk bei unveränderter mittlerer Jahrestemperatur von — 11,1° C. die Wärme so vertheilt wäre,

Fig. 291.



dass sie nur zwischen 0° C. und — 22° C. schwankte, so würde der Schnee ewig liegen bleiben.

Die mittlere Temperatur der Schneegrenze kann also an Orten, welche ein sehr excessives Klima haben, sehr niedrig sein; in solchen Gegenden aber, für welche die Differenz zwischen der Sommer- und Wintertemperatur geringer ist, wird die mittlere Jahrestemperatur an der Grenze des ewigen Schnees höher sein. Da nun zwischen den Wendekreisen die Schwankungen der Temperatur weit geringer sind als in den gemässigten Zonen und in den Polargegenden, so wird auch die mittlere Jahrestemperatur der Luft an der Schneegrenze in den Tropen weit höher sein als in höheren Breiten.

Denken wir uns einen Ort, an welchem die Temperatur der Luft das ganze Jahr hindurch 0° C. betrüge, so könnte der Schnee, welcher hier fällt, unmöglich wegschmelzen, und man sieht leicht ein, dass, wenn die Temperatur eines Ortes um nur sehr wenige Grade schwankt, die mittlere

Temperatur über 0° C. sein muss, damit der gefallene Schnee vollkommen wegschmelzen kann, wenn man bedenkt, wie viel Wärme beim Schmelzen des Schnees gebunden wird. Es ist daher leicht zu begreifen, dass in den Tropen die mittlere Lufttemperatur an der Schneegrenze über Null ist.

In den Tropen ist die mittlere Lufttemperatur der Schneegrenze + 1,2° C., während sie in Norwegen vom 60. bis 70. Breitengrade — 5° C. ist; in Sibirien ist sie natürlich noch niedriger.

Da die Schneegrenze vorzugsweise von der Temperatur des heissesten Monats abhängt, so muss die Höhe der Schneegrenze in verschiedenen Gegenden, für welche die mittlere Jahreswärme in der Ebene gleich ist, verschieden sein, wenn die Vertheilung der Wärme an beiden Orten ungleich ist, falls die eine Gegend ein Küstenklima, die andere aber ein Continentalklima hat. Bei gleicher mittlerer Jahreswärme in der Ebene liegt die Schneegrenze für ein Küstenklima tiefer als für ein Continentalklima.

So hat z. B. Island und das Innere von Norwegen vom 60. bis 62. Grade fast ganz gleiche mittlere Jahreswärme, in Island ist aber die Sommerwärme geringer, und deshalb liegt auch die Schneegrenze bedeutend (700 m) tiefer.

Je mehr Schnee im Winter fällt, desto heisser muss es im Sommer werden, um ihn ganz wegzuschmelzen; da nun an den Küsten mehr Schnee fällt als im Inneren der grossen Continente, wo die Luft weit trockner ist, so ist darin ein neuer Grund zu suchen, warum an den Küsten die Schneegrenze verhältnissmässig tiefer liegt als im Inneren des Landes.

Die Pyrenäen und der Kaukasus liegen ungefähr in gleicher Breite; die mittlere Jahrestemperatur sowohl als auch die mittlere Sommerwärme ist am Fusse der Pyrenäen höher als am Fusse des Kaukasus, und doch ist die Schneegrenze am Kaukasus um 700 m höher als in den Pyrenäen, weil dort weniger Schnee fällt als hier.

Sehr auffallend erscheint es auch, dass die Schneegrenze auf der nördlichen Abdachung des Himalaya um beinahe 400 m höher liegt als am südlichen Abhange; es wird dies aber begreiflich, wenn man bedenkt, dass gerade die über dem Indischen Ocean mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, an den südlichen Abhang des riesenhaften Gebirges anschlagend, dort ungeheure Massen von Regen in den niederen, und von Schnee in den höheren Regionen absetzt, während aus der trockenen Luft auf der nördlichen Abdachung ungleich weniger Schnee herabfällt; ausserdem aber schliesst sich an die nördliche Abdachung die bedeutende Hochebene von Tibet an, während sich das Gebirge auf der Südseite rasch bis zum Spiegel des Meeres herabsenkt.

Das Tafelland von Tibet besteht eigentlich aus mehreren durch Gebirgsketten getrennten Hochebenen von ausserordentlicher Trockenheit, auf welchen die Temperaturschwankungen ungemein gross sind; da diese felsigen und sandigen Hochebenen sich im Sommer durch die Absorption

der Sonnenstrahlen bedeutend erwärmen, tragen sie viel zur Erhöhung der Schneegrenze bei.

Aehnliche Verhältnisse finden sich in den Cordilleren des nördlichen Theiles von Südamerika. Nach den Messungen von Pentland ist die Schneegrenze vom 14. bis zum 18. Breitengrade noch bedeutend höher als unter dem Aequator selbst, was offenbar nur von dem Einflusse der Hochebenen herrühren kann.

Die Grenze des Schnees steigt und sinkt mit den verschiedenen Jahreszeiten; diese Schwankung ist in der heissen Zone Amerikas sehr unbedeutend, sie beträgt, nach Humboldt, nur 80 bis 120 m; man darf jedoch die Grenzen des Schnees nicht mit den Grenzen verwechseln, bis zu welchen noch von Zeit zu Zeit Schnee fällt und auch einige Zeit liegen bleibt. In den mexicanischen Gebirgen liegen die Grenzen, zwischen welchen die Schneegrenze auf- und niedersteigt, schon bedeutend weiter, nämlich um 700 m, aus einander; dieser Unterschied ist leicht zu begreifen, wenn man bedenkt, dass die mittlere Temperatur der drei wärmsten Monate in Mexico um 5° C., in Quito aber nur um 1° bis 2° C. mehr beträgt als die mittlere Temperatur der drei kältesten Monate.

189 **Die Gletscher.** Da der auf den Schneefeldern fallende Schnee nur theilweise wegschmelzen kann, da also jeder frisch fallende Schnee noch alte Schneemassen vorfindet, so muss hier im Laufe der Zeit eine ungeheure Anhäufung von Schnee und Eis stattfinden, und zwar wird dies vorzugsweise in den über der Schneegrenze liegenden Hochthälern der Fall sein, in welchen der Wind den Schnee zusammenweht und in welche er von den steileren sie umgebenden und schützenden Bergkämmen und Gipfeln als Lawinen herabstürzt.

Da nun aber eine solche Anhäufung von Schnee und Eis nicht ins Unendliche fortgehen kann, so muss irgendwie eine Ausgleichung stattfinden, und diese Ausgleichung wird durch die Gletscher vermittelt.

Wenn nämlich die Anhäufung des Schnees, welcher, wie wir alsbald sehen werden, eine allmähliche Umwandlung in körniges Eis erfährt, bis zu einer gewissen Grenze fortgeschritten ist, so kann sich die Masse auf der geneigten Fläche, auf welcher sie liegt, nicht mehr erhalten, sie gleitet theils vermöge ihres eigenen Gewichtes, theils in Folge des Druckes, den höher gelegene Massen auf sie ausüben, auf der schiefen Ebene herab, einen sehr langsam fliessenden Eisstrom bildend, der sich bis in wärmere Umgebungen herabsenkt, wo dann die Schmelzung stattfindet, zu welcher die Wärme in der Höhe nicht ausreichte.

Ein solcher aus der Region des ewigen Schnees langsam thalabwärts sich bewegender Eisstrom wird nun ein Gletscher (glacier), in Tyrol ein Ferner genannt.

Der auf den Schneefeldern gefallene Schnee erleidet durch abwechselndes theilweises Aufthauen und Wiedergefrieren allmählich eine gänzliche Umänderung seines Aggregatzustandes. Das durch Schmelzen

gebildete Wasser dringt in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Schneekryställchen ein und füllt sie abwechselnd mit Luftblasen aus; der nächste Frost verwandelt diesen mit Wasser getränkten Schnee in eine Masse körnigen Eises, welches mit dem Namen Firn bezeichnet wird.

Durch eine mehrmalige, in Folge der Abwechselung von Sommer und Winter in grossem Maassstabe stattfindende Wiederholung des eben angedeuteten Processes werden nach und nach mehrere kleine Firnkörner durch Zusammenfrieren zu grösseren Eiskörnern vereinigt, wobei auch die alsbald näher zu besprechende Regelation eine wesentliche Rolle spielt. So wird denn die Schnee- und Firnmasse allmählich mehr und mehr in Eis verwandelt, welches, sich langsam in die Thäler hinabsenkend, die Gletscher bildet. Jeder Winter häuft neue Schneemassen als Material zu fernerer Gletscherbildung in den Hochthälern an.

Das Gletschereis bildet keine compacte feste Masse, nicht ein continuirliches Ganzes, wie das Eis auf der Oberfläche der Seen und Flüsse; es besteht vielmehr aus einem Conglomerat mehr oder minder grosser unregelmässig gestalteter Eiskörner, deren jedes seinen Nachbar in die Masse einkeilen hilft. Die theils mit Wasser, theils mit Luft gefüllten Fugen und Canäle, welche die aneinanderstossenden Flächen benachbarter Gletscherkörner trennen, kann man sehr schön sichtbar machen, wenn man gefärbten Weingeist auf die eben gemachte Grenzfläche eines Stückes Gletschereis giesst. Durch den in die Fugen eindringenden Weingeist erscheinen die Gletscherkörner gleichsam von einem gefärbten Netze eingeschlossen. Am unteren Ende des Aletschgletschers fand Hugi die Gletscherkörner über zwei Zoll gross. Eine Stunde weiter aufwärts, am Mörlisee, waren sie nur stark nussgross und noch zwei Stunden weiter waren sie noch viel kleiner und gingen alsbald in Firn über.

Die zahlreichen Canäle, welche die Gletschermasse durchziehen und welche man nicht ganz passend als Haarspalten bezeichnet hat,

Fig. 292.



werden deutlicher sichtbar, wenn ein Stück Gletschereis einige Zeit lang der Einwirkung der wärmeren Luft ausgesetzt bleibt.

Bei längerer Einwirkung zerfällt es in einzelne Eiskörner, von etwa solchem Aussehen, wie sie Fig. 292 darstellt.

Dieses Zerfallen in einzelne unregelmässige Körner ist ein charakteristisches Merkmal des Gletschereises. Das Flusseis, wie wir kurz

alles Eis bezeichnen wollen, welches durch Gefrieren einer freien Wasseroberfläche entstanden ist, zeigt bei etwas raschem Schmelzen gar kein Zerfallen, indem es nur an der Oberfläche wegschmilzt, im Inneren aber eine compacte Masse bleibt, oder es zerfällt bei sehr langsamem Aufthauen in unregelmässig begrenzte Stänglein von 1 bis 3 mm Durchmesser, deren Axe rechtwinklig steht zur Oberfläche der Eisplatte.

Die einzelnen Gletscherkörner scheinen bei ausserordentlicher Klarheit und Durchsichtigkeit vollkommen farblos zu sein; in grösseren Massen aber zeigt das Gletschereis die herrliche blaue Färbung, welche man in Gletscherspalten und Gletscherhöhlen zu bewundern Gelegenheit hat. Es is dies offenbar das Blau des reinen Wassers, von welchem in §. 150 die Rede war.

Bei seinem langsamen Herabgleiten verhält sich das Gletschereis nicht etwa wie ein zusammenhängender fester Körper, sondern mehr wie eine

Fig. 293.

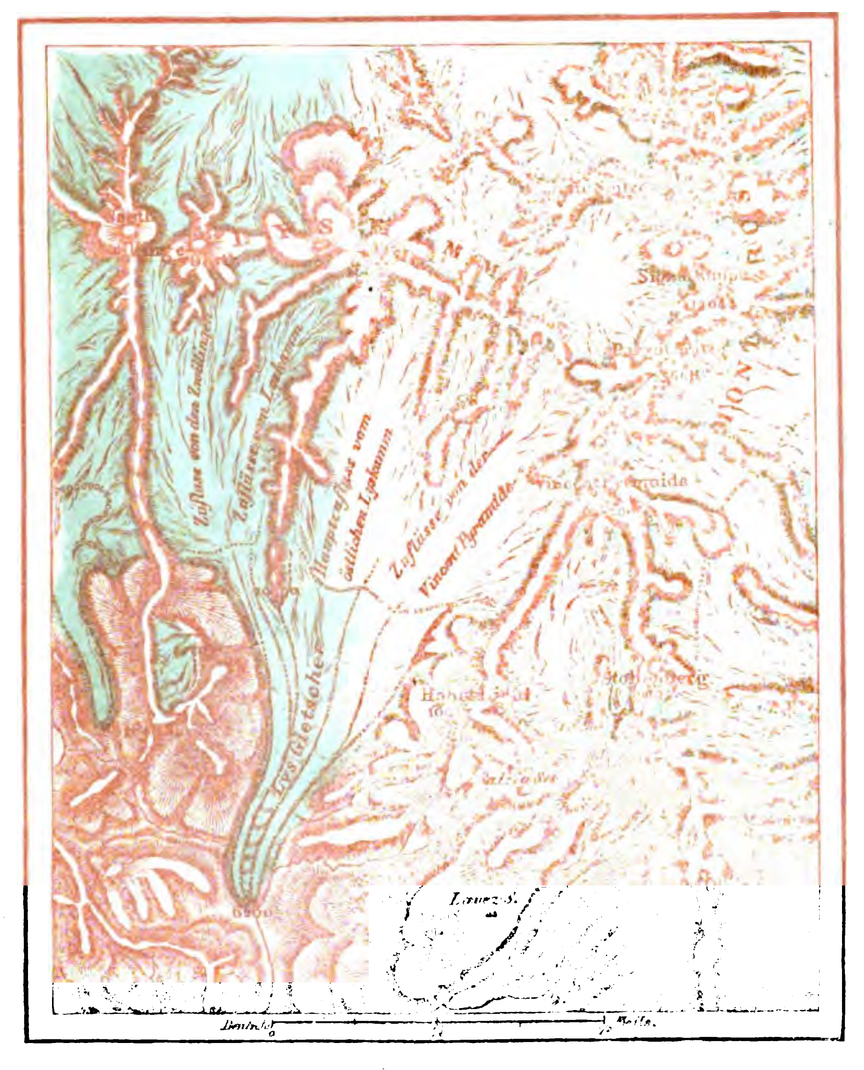


zähe dickflüssige Masse, denn die Geschwindigkeit der Gletscherbewegung ist keineswegs für den ganzen Querschnitt dieselbe; in der Mitte des Gletscherstromes ist die Bewegung weit rascher thalabwärts als an den Seitenrändern, und dieser Umstand bewirkt im Verein mit mehreren anderen, dass sich im Gletschereis zahlreiche Klüfte und Spalten bilden, wie dies Fig. 293 zeigt, welche einen Theil des Zermattgletschers darstellt.

Das nach **Schlagintweit's** Karte des Monte Rosa copirte Kärtchen des **Lysgletschers**, Fig. 294, ist sehr geeignet, einige der die Gletscherbildung bedingenden Umstände anschaulich zu machen. Das

Fig. 294.

KARTE DES LYSGLETSCHERS.

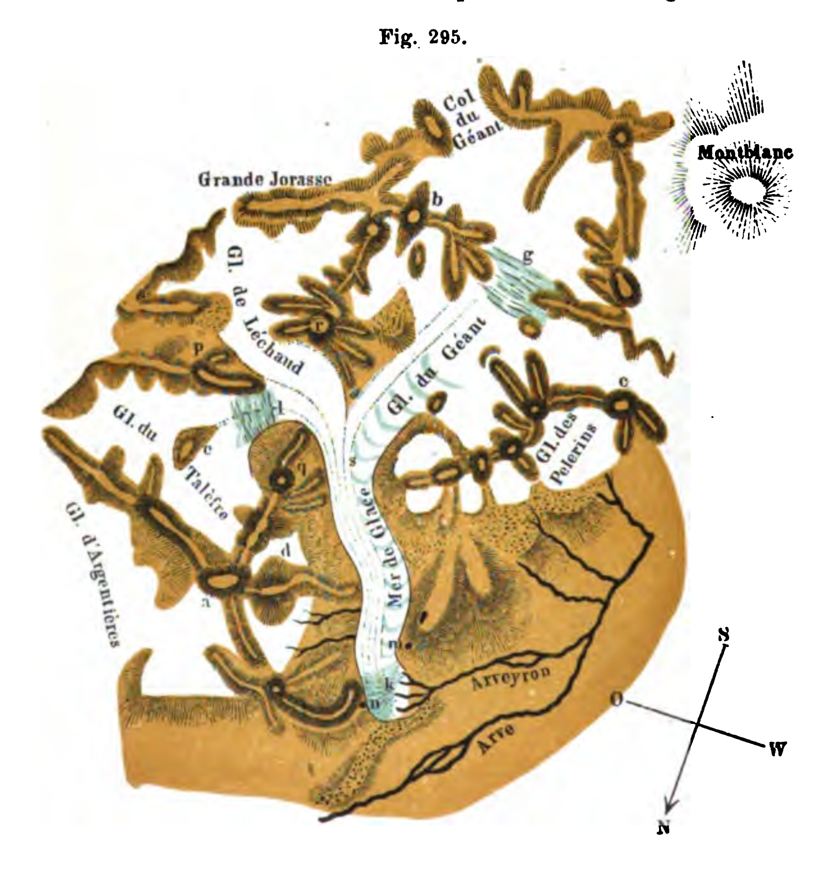


in der Tiefe ganz enge Lysthal breitet sich in der Höhe zu einem weiten Thalkessel aus, welcher auf der Nordseite durch den **Lyskamm**, im Osten durch den Kamm der Vincentpyramide und im Westen durch einen die-

sem parallel laufenden, fast eben so hohen Gebirgskamm eingeschlossen ist. Die ungeheure Schnee- und Firnmasse, welche sich in diesem hoch über der Schneegrenze liegenden Thalkessel anhäuft, ist es nun, welche den Lysgletscher ernährt, von den Firnfeldern aus wie ein Strom langsam herabfliesst und sich in das unten enger werdende Lysthal keilförmig einzwängt. Das untere Ende dieses Gletschers findet sich in einer Höhe von 2000 m, die mittlere Höhe der Firnlinie, d. h. der Gegend, in welcher die Firnmasse in Gletschereis übergeht, beträgt ungefähr 3000 m. Die mittlere Neigung der Firnmasse ist 13° 20′, die mittlere Neigung des Gletschers ist 18°.

Betrachten wir ferner das Mer de glace, das Eismeer, im Chamounithale, welches an Masse alle Gletscher der Schweiz übertrifft, obgleich es an Länge vom Aletschgletscher übertroffen wird. Es sammelt sich, wie man aus dem nach Forbes copirten Kärtchen, Fig. 295, ersieht,

Fig. 295.



von den Schneefeldern der unmittelbar nördlich vom Montblanc gelegenen Berge, von denen mehrere, wie grande Jorasse, die Aiguille

verte (*a*, Fig. 295), die Aiguille du géant (*b*), Aiguille du midi (*c*) und die Aiguille du Dru (*d*) nur um 650 bis 1000 m von dem Montblanc überragt werden. Die Schneefelder, welche an den Abhängen und in den Thalkesseln zwischen diesen Bergen liegen, sammeln sich in drei Hauptströme, den glacier du Géant, glacier de Léchaud und glacier du Talèfre, welche schliesslich zusammenfliessend das Eismeer bilden, welches sich als ein 850 bis 1000 m breiter Eisstrom bis in das Thal von Chamouni hinauszieht, wo aus seinem unteren Ende ein starker Bach, der Arveyron, hervorbricht, der sich in die Arve ergiesst. Der unterste Absturz des Eismeeres, welcher vom Thal von Chamouni aus sichtbar ist und eine gewaltige Eiscascade bildet, wird gewöhnlich glacier des Bois genannt.

Hugi schätzt die Mächtigkeit der Gletscher des Berner Oberlandes an ihrem Ausgange zu 10 bis 26 m. Auf dem Unteraargletscher,

Fig. 296.



etwa eine Stunde oberhalb seines Ausganges, fand er eine bis auf den Grund gehende Spalte von 40 m Tiefe. Die mittlere Mächtigkeit der Gletscher jener Gegend beträgt nach Hugi's Messungen 26 bis 32 m, die höheren, weite Thäler ausfüllenden Firne können im Mittel 40 bis 60 m dick angenommen werden und Agassiz fand an einzelnen Stellen bei Niederlassen von Leinen in die Gletscherspalten bei 190 und 260 m noch nicht den Grund.

Die Mächtigkeit des Mer de glace und seiner Zuflüsse ist wahrscheinlich noch viel bedeutender. Am Ende einer verticalen Felswand des Tacul schiebt sich der Rand des glacier du Géant mit einer senk-

rechten Wand von 45 m Höhe hervor. Etwas unterhalb der Vereinigungsstelle der drei Gletscher sondirte Tyndall in einem moulin, d. h. in einer Höhlung, durch welche die oberflächlichen Gletscherwasser in die Tiefe strömen, bis zu 52 m Tiefe, und die Führer behaupteten, in einer ähnlichen Oeffnung einmal bis zu 114 m sondirt zu haben. Die Bodengestaltung lässt aber eine viel bedeutendere Mächtigkeit des Eises an diesen Stellen vermuthen.

Von der Mächtigkeit der Eismassen der grösseren Gletscher giebt auch die Ansicht, Fig. 296 (a. v. S.), vom unteren Ende des gewaltigen Gornergletschers bei Zermatt ein anschauliches Bild.

190 **Regelation.** Auf den ersten Anblick scheint es fast unglaublich, dass das sonst so spröde Eis in den Gletschern wie eine dickflüssige Substanz, etwa wie Theer oder dicker Thonbrei sich bewegen soll, dass es allen Krümmungen der Thäler folgt, in welche sich der Gletscher herabsenkt, und sich durch etwaige Verengungen hindurchzwängen lässt, wie eine plastische Substanz. Dass das Gletschereis in der That keine plastische Masse, dass es wirklich spröde ist, geht schon aus der Bildung der Spalten und aus der später noch zu besprechenden Zerklüftung hervor, welche die Gletscher an verschiedenen Stellen zeigen.

Die Lösung dieser scheinbaren Widersprüche ergiebt sich theilweise aus dem Umstand, dass das Gletschereis eine aus einzelnen Eiskörnern zusammengesetzte Masse ist, deren Verhalten wesentlich durch die unter dem Namen der Regelation bekannte Eigenthümlichkeit des Eises bedingt wird.

Wenn man zwei etwas geebnete Eisstücke, welche schon im Schmelzen begriffen sind, gegen einander presst, so werden sie alsbald ein zusammenhängendes Eisstück bilden, und zwar werden sie um so stärker zusammenhaften, je stärker sie zusammengedrückt wurden. Die Erscheinung findet selbst in einer über 0° erwärmten Umgebung statt und schon der Druck der Hände genügt, um die Erscheinung zu zeigen.

Die beiden Eisstücke sind in Folge des Druckes offenbar zusammengefroren, weshalb auch Faraday, welcher das eben besprochene Phänomen entdeckte, es mit dem Namen der Regelation bezeichnete.

In Folge der Regelation wird der schon bis zum Schmelzpunkt erwärmte Schnee durch den Druck der Hände zu einem festen Schneeball vereinigt. Sehr kalter Schnee bildet ein trockenes loses Pulver, welches sich mit der Hand nicht zu einem festen Ball zusammenpressen lässt.

Die Erklärung der Regelation ergiebt sich aus dem in dem Lehrbuch der Physik besprochenen Umstand, dass der Gefrierpunkt des Wassers unter hohem Druck erniedrigt wird.

Die beiden einander zugekehrten Flächen der zusammengepressten Eisstücke berühren sich, wenn sie auch noch so gut geebnet waren, doch nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach, sondern nur in einzelnen Punkten.

An den sich berührenden Stellen wird nun in Folge des Druckes Eis zur Schmelzung gebracht, das gebildete Wasser wird aber etwas kälter sein als 0° und deshalb, in die leeren Zwischenräume eindringend, in denen es dem Druck entzogen ist, alsbald wieder gefrieren und so das Zusammenhaften der beiden Eisstücke bewirken.

Die Regelation spielt nun aber, wie sich leicht einsehen lässt, auch bei dem Uebergang des Schnees in Gletschereis eine wesentliche Rolle. Die durch abwechselndes Schmelzen und Gefrieren des Schnees gebildeten Firnkörner haben den Druck der auf ihnen lastenden Schnee- und Firnmassen auszuhalten, wodurch ein festeres Aneinanderhaften der einzelnen Firnkörner bedingt und nach und nach der Uebergang der feineren Firnkörner in grössere, fester zusammenhängende Gletscherkörner bewirkt wird.

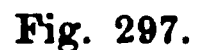

Fig. 297.



Fig. 298.



Die Verwandlung von Schnee in Eis, welche sich in den Gletschern unter verhältnissmässig geringerem Druck in längeren Zeiträumen vollzieht, lässt sich mit einem von Helmholtz erdachten Apparate unter Anwendung stärkeren Druckes in kurzer Zeit ausführen. An einem hohlen, oben und unten offenen Cylinder *AA* von Gusseisen, von welchem Fig. 297 eine äussere Ansicht, Fig. 298 aber den Durchschnitt zeigt, ist unten ein breiter eiserner Ring befestigt, an welchem von unten her eine eiserne Platte angeschraubt werden kann, welche entweder in ihrer Mitte conisch durchbohrt ist, wie Fig. 298 zeigt, oder welche ganz massiv ist, so dass sie den hohlen Cylinder *A* von unten her vollständig schliesst. In die Höhlung des Cylinders *A* kann von oben her ein genau passender Stempel *C* eingeschoben werden, wie man in beiden Figuren sieht.

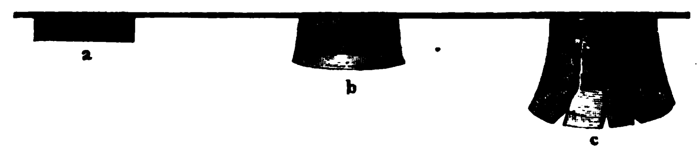
Zunächst werde nun eine massive Platte *B* an den hohlen Cylinder angeschraubt, die Höhlung des auf 0° erkalteten Cylinders *A* mit Schnee

vollgestopft, der cylindrische Stempel C aufgesetzt und endlich mittelst einer hydraulischen Presse hineingetrieben. Der lockere Schnee schwindet nun unter einem Druck, welcher leicht bis auf 50 Atmosphären gesteigert werden kann, auf ein kleines Volumen zusammen. Man lässt nun mit dem Drucke nach, nimmt den Stempel heraus, füllt den leeren Theil des Cylinders abermals mit Schnee aus, presst wieder und fährt so fort, bis die ganze Höhlung des Cylinders A mit einer Masse angefüllt ist, welche dem Druck nicht mehr nachgiebt. — Wenn man nun die Bodenplatte BB abschraubt und den gepressten Schnee herausnimmt, so sieht man, dass er zu einem ganz harten, scharfkantigen und trübe durchscheinenden Eiscylinder geworden ist.

Während die in A enthaltene Schnee- und Eismasse durch kräftiges Eintreiben des Stempels C comprimirt wird, sieht man aus der feinen Fuge zwischen der Bodenplatte BB und der am Cylinder A unten angebrachten Scheibe äusserst zarte Eisblättchen nach allen Seiten in horizontaler Richtung herauswachsen. Es rührt dies von dem durch Schmelzung des gepressten Eises gebildeten, aber unter 0^0 erkalteten Wasser her, welches sogleich wieder erstarrt, sobald es dem starken Druck entwichen ist, welchen es im Cylinder auszuhalten hatte.

Schraubt man an die Stelle der massiven Eisenplatte BB, welche zu dem eben beschriebenen Versuche diente, eine Platte mit conisch sich verengender Oeffnung, wie man in Fig. 298 sieht, unter dem hohlen Cylinder AA an, setzt man dann den durch Compression des Schnees erzeugten Eiscylinder in die Höhlung von AA ein und treibt man endlich den Stempel wieder mittelst der hydraulischen Presse an, so sieht man anfangs einen soliden Eiscylinder von dem Durchmesser der unteren Oeffnung austreten. Da aber in der Mitte der Oeffnung das Eis schneller nachdrängt als an den Rändern, so wölbt sich die freie Endfläche des hervorgedrängten Eiscylinders, sein unteres Ende verdickt sich, so dass es nicht mehr durch die Oeffnung zurückgezogen werden kann und spaltet

Fig. 299.



sich endlich auf. Fig. 299 a, b und c zeigt die Reihe von Formen, die in dieser Weise zu Stande kommen.

Setzt man einen durch Compression von Schnee gebildeten Eiscylinder, Fig. 300, zwischen zwei Holzplatten in die hydraulische Presse ein, so verändert beim Antreiben derselben der Eiscylinder unter fortwährendem Knarren und Knacken allmählich seine Form, er wird immer niedriger, dafür aber dicker und erst, wenn derselbe schon in eine ziemlich platte Kreisscheibe, Fig. 301, verwandelt worden ist, fängt er an, am

Rande einzureissen und Spalten zu bilden, gleichsam Gletscherspalten im Kleinen.

Ganz anders verhält sich ein Eiscylinder, den man aus einem der gefrorenen Oberfläche eines Flusses oder Sees entnommenen Stücke Eis so herausgeschnitten hat, dass die beiden natürlichen Oberflächen seine Endfläche bilden. Durch den Druck der Presse wird das Eisstück zerbrochen, jeder sich bildende Riss geht durch seine ganze Dicke hindurch und der ganze Block zerfällt in einen Haufen von Trümmern, welche bei fernerem Antreiben der Presse theilweise allerdings wieder durch Regelation vereinigt werden.

In dem letzteren Falle haben wir es mit einem krystallisirten Körper, im ersteren aber mit einer Eismasse von körniger Structur zu

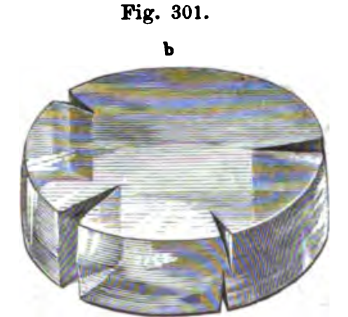
Fig. 300.

a



Fig. 301.

b



thun, deren einzelne Körnchen, durch feine Zwischenräume getrennt, sich leicht gegenseitig verschieben lassen, um sich dann in veränderter gegenseitiger Stellung wieder durch Druck vereinigen zu lassen. Da auch das Gletschereis aus einzelnen, wenn auch grösseren Körnern besteht, so erklärt sich aus diesem Umstande, dass es sich unter einem starken Druck wie ein plastischer Körper verhält und sich wie ein zähflüssiger Körper bewegen kann, während es sich gegen Zug und Spannung im höchsten Grade spröde zeigt.

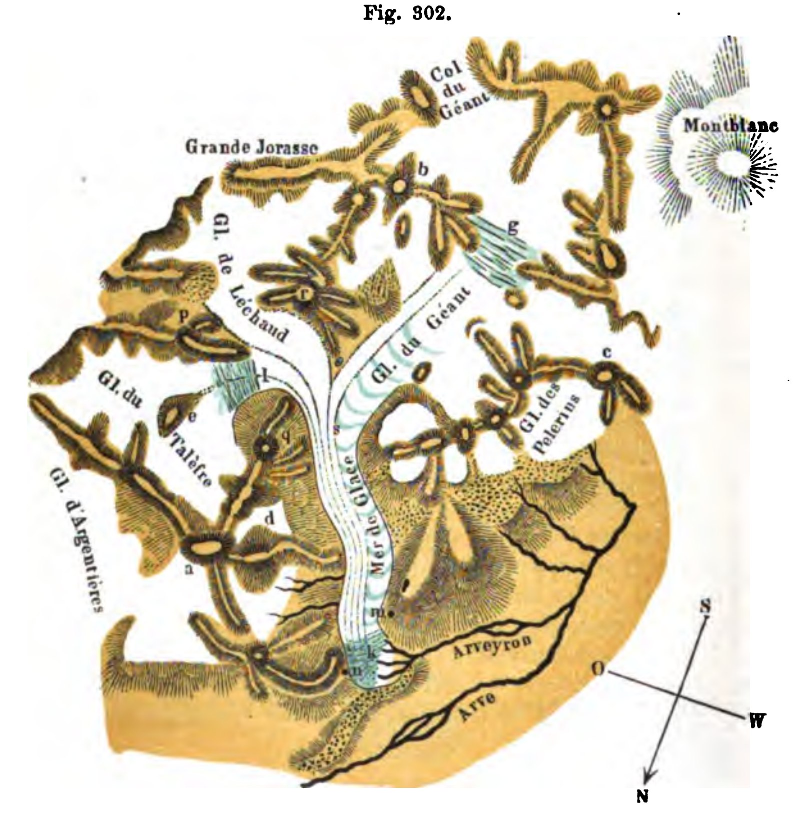
Die Gletscherbewegung. Auf den ersten Anblick erscheinen die Gletscher als eine völlig bewegungslose Masse, starr wie die sie umgebenden Felsen; eine etwas genauere Beobachtung zeigt aber alsbald eine thalabwärts gerichtete Bewegung. 191

Von der Wengernalp aus sieht man eine gewaltige Gletschermasse, welche von dem Sattel zwischen Mönch und Jungfrau nach Norden hin abgedacht ist und sich bis zu einer steilen Felswand vorschiebt, welche fast senkrecht gegen das Trümleten Thal abfällt. Hier erscheint nun der Gletscher durch eine verticale Eiswand begrenzt, welche gleichsam die Fortsetzung jener Felswand bildet. Durch das langsame Voranschreiten des Gletschers wird nun bald da bald dort eine Partie der

Eismasse über den Rand der Felswand hinausgeschoben und stürzt dann, von der hinteren Gletschermasse sich trennend, unter furchtbarem Donner, im Ansehen einem Wasserfalle ähnlich, in die Tiefe hinab. An heissen Sommertagen, wo das Voranschreiten der Gletscher am schnellsten ist, kann man hier oft 3 bis 4 solcher Lawinenstürze in der Stunde beobachten.

Im Jahre 1788 liess S a u s s u r e beim Herabsteigen an den Felsen an der Seite der Eiscascade des Glacier du Géant (*g*, Fig. 302) eine höl-

Fig. 302.



zerne Leiter zurück. Im Jahre 1832, also 44 Jahre später, wurden Bruchstücke dieser Leiter bei *s* gefunden, woraus sich ergiebt, dass jene Theile des Gletschers in jedem Jahre durchschnittlich um 114 m oder täglich im Durchschnitt 321 mm abwärts gewandert waren.

Im Jahre 1836 fiel ein Führer beim Uebergang nach dem aus der Masse des Glacier de Talèfre hervorragenden Felsens *e*, Fig. 302, welcher unter dem Namen des „jardin“ bekannt ist, in eine Gletscherspalte, und es gelang ihm nur unter Zurücklassung seines Tornisters, wieder herauszukommen. Dieser Tornister wurde aber im Jahre 1846 in der Nähe von

l, 1310 m weiter abwärts, wieder aufgefunden, er hatte also mit dem Gletscher durchschnittlich einen Weg von 131 m im Jahre oder 359 mm täglich zurückgelegt.

Im Jahre 1827 hatte sich Hugi auf der Mittelmoräne des Unteraargletschers eine Hütte gebaut, um dort Beobachtungen anzustellen. Im Jahre 1840 stand sie 1428 m tiefer, sie hatte also in jedem Jahre einen Weg von durchschnittlich 110 m zurückgelegt.

Um sich von dem Fortrücken des Gletschers zu überzeugen und seine Geschwindigkeit zu messen, bedarf es übrigens nicht so langer Perioden; mit genaueren Messinstrumenten kann man sie schon im Laufe eines einzigen Tages wahrnehmen und messen. Solche Messungen haben ergeben, dass die Mitte des Eismeeres bei Chamouni im Sommer täglich um 54 cm im Tage fortschreitet, eine Geschwindigkeit, welche gegen die untere Eiscascade hin auf 95 cm steigt.

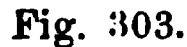
Die Geschwindigkeit, mit welcher die Gletscher sich in das Thal hinabschieben, hängt natürlich von localen Verhältnissen, z. B. von der Neigung der Thalsohle, von der Mächtigkeit der Gletscher- und Firnmasse etc. ab; auch geht die Bewegung in der Mitte der Gletscher weit rascher vor sich als an den Rändern. Ferner schwankt die Grösse der Gletscherbewegung mit der Jahreszeit; sie ist grösser im Sommer, wenn durch Wegschmelzen der Basis und durch das Wasser, welches die feineren Klüfte und Spalten ausfüllt, die Beweglichkeit der Gletschermasse erhöht wird; sie ist dagegen am geringsten im Winter, wenn das Wasser im Innern des Gletschers theilweise gefroren und das Wegschmelzen am Boden auf ein Minimum reducirt ist. Im Durchschnitt kann man annehmen, dass die Gletscher der Alpen jährlich um 100 m vorrücken; doch kommen hierbei grosse Verschiedenheiten zwischen 5 und 250 m vor. Bedeutende Gletscherbewegungen hat man in Grönland beobachtet. Es ist nämlich das Innere von Grönland mit einer mächtigen Eisschicht bedeckt, welche sich nach allen Seiten hin auszubreiten sucht; an einzelnen Stellen, wo die Ausbreitung durch Berge theilweise gehemmt wird, drängt sich die Eismasse zwischen diesen Bergen mit grosser Schnelligkeit hervor, so dass dort Bewegungen der Gletscher bis zu 20 m an einem Tage beobachtet sind.

Bei der Langsamkeit der meisten Gletscherbewegungen dauert es sehr lange, bis ein Theil des in der Höhe gefallenen Schnees in Eis verwandelt am unteren Ende des Gletschers ankommt. Für manche Gletscher dauert dies 80, 100 und noch mehr Jahre. Es dauert 120 Jahre, bis das Eis des Col du géant das untere Ende des Eismeeres erreicht.

So lange die Thalsohle, auf welche der Gletscher langsam herabgleitet, eine ziemlich gleichförmige Neigung beibehält, ist auch die Oberfläche des Gletschers, die Spalten abgerechnet, eine ziemlich ebene, wie dies z. B. der Zermattgletscher in seinen oberen Partien, Fig. 293, und das Mer de glace im Chamounithal in der Gegend des Montanvert, Fig. 303 (a. f. S.) erläutern.

Auf dem Kärtchen, Fig. 302, welches das Mer de glace darstellt, ist der **Montanvert** mit *m* bezeichnet. Der Standpunkt, von welchem aus die Ansicht, Fig. 303, aufgenommen ist, liegt dem Montanvert gegenüber auf dem rechten Ufer des Gletschers.

Wenn aber grosse Unebenheiten in der Thalsohle vorkommen, namentlich wenn die bis dahin sanfte Neigung des Gletscherbodens an


Fig. 303.



einer bestimmten Stelle steiler abzufallen beginnt, wie dies z. B. auf dem Glacier du Géant bei *g*, Fig. 302, auf dem Glacier du Talèfre bei *l* und auf dem Mer de glace bei *k* der Fall ist, so muss nun eine stärkere Zerklüftung des Eises eintreten. Bei dem rascheren Voranschreiten des unteren Gletschertheiles muss an einer solchen Stelle ein Abbrechen der Eismassen stattfinden, welche den vorangegangenen nachstürzen und so ein Chaos von Eisblöcken und Eisnadeln erzeugen, wie man es Fig. 304 sieht, welche das Mer de glace darstellt, wie es von der in Fig 302 mit *n* bezeichneten, unter dem Namen des **Chapeau** bekannten Stelle aus erscheint.

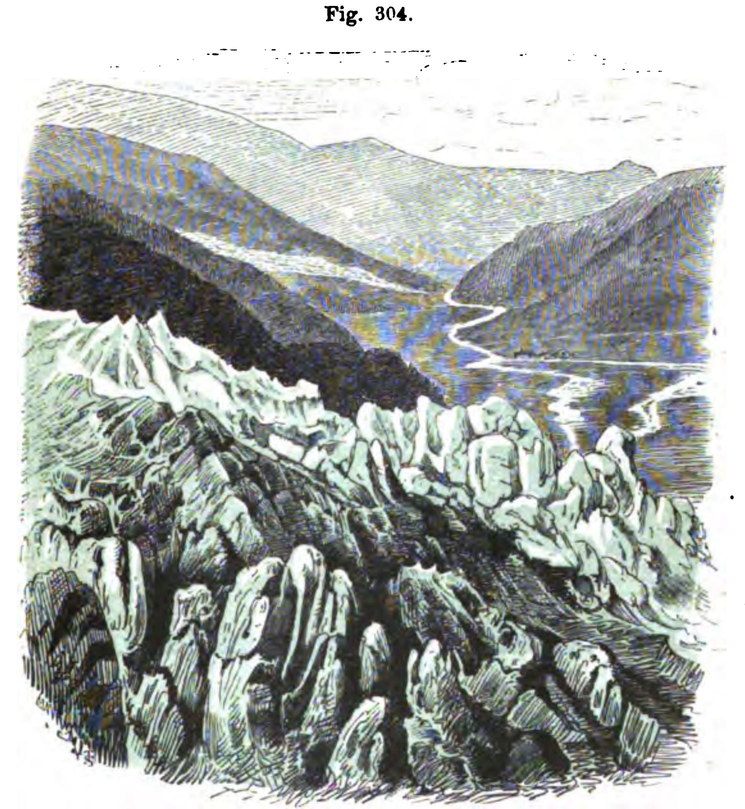
Solche stark zerklüftete Stellen der Gletscher werden **Eiscascaden** genannt.

Im Hintergrunde der Fig. 304 erblickt man den Bossongletscher.

Die untere Grenze des Gletschers wird sich natürlich da finden, wo gerade so viel Eis an der vorderen Fläche wegschmilzt, als die Masse des Gletschers in gleicher Zeit vorrückt. In wärmeren Jahren wird sich deshalb der Gletscher etwas zurückziehen, und wenn mehrere kühlere und schneereiche Jahre auf einander folgen, so senkt sich der Gletscher weiter in das Thal herab.

Die Gletscher müssen sich demnach in den Thälern der Hochgebirge weit unter die Grenze des ewigen Schnees herabziehen. So reicht z. B. der untere Grindelwaldgletscher, welcher überhaupt unter allen Alpengletschern am tiefsten herabsteigt, bis zu einer Höhe von 1080 m

Fig. 304.



über den Meeresspiegel herunter, während die Schneegrenze in jenen Gegenden ungefähr 2600 m hoch ist.

Die Gletscher senken sich also in eine Region herab, welche schon eine üppige Vegetation zeigen kann, und so kommt es, dass man nicht selten die unteren Parthien der Gletscher von Getreidefeldern und von Baumwuchs umgeben findet.

192 **Moränen und Gletscherschliffe.** Von den Thalwänden, zwischen denen die Gletscherströme sich hinabsenken, fällt fortwährend Schutt, bald fallen kleinere, bald grössere Gesteinstrümmer auf die Oberfläche der Gletscher herab, welche theils durch Verwitterung von der Felsmasse losgelöst, theils durch Gefrieren des Wassers in ihren Spalten abgesprengt worden sind und die vorzugsweise auf dem Rande des Gletschers liegen bleiben. Diese Erd- und Gesteinsmassen, welche der Oberfläche des Gletschers meist ein schmutziges Ansehen geben, wandern nun mit der ganzen Gletschermasse thalabwärts bis zum unteren Gletscherende, welches in Folge dessen von mehr oder minder mächtigen Trümmerwällen umgeben erscheint, die unter dem Namen der Moränen bekannt sind. Die auf der Seite des Gletschers abgesetzten Trümmerwälle werden Seitenmoränen genannt.

Die vor dem Gletscherende angehäuften Gesteinsmassen nennt man Frontmoränen oder auch Stirnwälle. Wenn die Ausdehnung des Gletschers in der Art zunimmt, dass sein unteres Ende mehr und mehr vordringt, so wird die ganze Frontmoräne mit unwiderstehlicher Gewalt von der Eismasse fortgeschoben. Wenn dann aber wieder einige Jahre folgen, in welchen der Gletscher zurückgeht, d. h. in welchen das Abschmelzen des vorderen Endes rascher erfolgt als das Vordringen der

Fig. 305.



Masse, so zieht sich das Gletscherende allmählich von dem Steinwalle zurück, der so die Grenze bezeichnet, bis zu welcher früher der Gletscher vorgedrungen war. Ein schönes Beispiel solcher alter Frontmoränen bietet der Rhonegletscher, Fig. 305. Man sieht hier deutlich, wie das untere Gletscherende unmittelbar von einem Trümmerwall umgeben ist. Ausserdem sieht man aber noch einige alte Frontmoränen, welche in einiger Entfernung vom Gletscher denselben concentrisch umgeben.

Wenn zwei Gletscherströme zusammenstossen, um sich zu einem einzigen zu vereinigen, wie z. B. der Glacier de Lechaud und der Glacier du géant, Fig. 302, welche zusammen das Mer de glace bilden, so stösst das linke Ufer des einen mit dem rechten des anderen zusammen und so

gelangen die Gesteinsmassen, welche auf den einander zugewendeten Ufern der beiden Gletscher liegen, auf die Mitte des durch ihre Vereinigung gebildeten, auf dessen Mitte sie dann weiter abwärts wandern. Ein solcher, auf der Oberfläche des Gletschers parallel mit seinen Ufern sich fortziehender Steinwall wird eine Mittelmoräne oder Gufferlinie genannt. Auf dem Kärtchen, Fig. 302, sieht man, wie auf dem Eismeer vier solcher Gufferlinien, deren Ursprung man leicht auffinden kann, parallel neben einander herziehen. Auf der Karte des Lysgletschers, Fig. 294, lassen sich mehrere solcher Mittelmoränen verfolgen. Fig. 306 stellt die mächtige Mittelmoräne des Unteraargletschers dar, welcher durch die Vereinigung zweier Gletscherströme gebildet wird,

Fig. 306.



von denen der eine von den Firnfeldern des Finsteraarhorns, der andere von denen des Schreckhorns herabkommt.

Ein anderes schönes Beispiel einer Mittelmoräne bietet der grosse Aletschgletscher, von welchem Fig. 307 (a. f. S.) eine Ansicht bietet.

Unter den zahllosen grösseren und kleineren Gesteinstrümmern, welche von dem Gletschereis getragen thalabwärts wandern und in den Endmoränen angehäuft werden, kommen bisweilen auch solche von enormer Grösse vor, ja in alten Moränen hat man solche von der Grösse zweistöckiger Häuser gefunden.

In der Region des Firnes sind die Gufferlinien noch nicht über die Firnfläche erhoben, sobald sie hingegen die Firnfläche überschritten und den eigentlichen Gletscher erreicht haben, erheben sie sich über das Niveau der übrigen Gletschermasse, weil sie das von ihnen bedeckte Eis

vor den Sonnenstrahlen schützen, unter deren Einfluss das unbedeckte Eis rasch wegschmilzt. Wenn einzelne grössere Steinblöcke isolirt auf dem Eise liegen, so geht derselbe Process vor sich, es entstehen soge-

Fig. 307.



nannte Gletschertische, d. h. Steinblöcke, welche von einem Eiskegel getragen werden, wie man deren in Fig. 306 mehrere sieht. Wenn der Eiskegel nach und nach zu weit abgeschmolzen ist, so fällt der Steinblock wieder auf die Oberfläche des Gletschers herab.

Indessen hängt die Bildung solcher Gletschertische von der Grösse der Gegenstände, welche das Eis vor den Sonnenstrahlen schützen, und

wie es scheint, auch von dem Klima der Gegend, in welcher die Gletscher sich befinden, ab. Während in den Alpen und den meisten bekannten Gebirgsgegenden grosse Gegenstände die erwähnten Gletschertische bilden, so werden dort kleine Gegenstände durch die Sonnenstrahlen stärker erwärmt, als das darunter befindliche Eis, und da sie überdies wegen ihrer verhältnissmässig grossen Oberfläche die Wärme rasch an das Eis abgeben, so bringen sie dasselbe zum Schmelzen, und sinken dadurch in das Eis ein. In Grönland ist dieselbe Erscheinung auch bei grösseren Steinen beobachtet; sie bilden dort keine Gletschertische, sondern Löcher im Eise, durch die sie sich allmählich in verticaler Richtung abwärts bewegen. Steine, welche entweder durch Spalten hinabgefallen oder vom Boden des Thales losgelöst in die untere Fläche des Gletschers gleichsam eingebacken sind, werden mit dem Eise allmählich über den Boden des Gletscherthales hingeschoben, indem sie gleichzeitig durch die Last des über ihnen liegenden Eises gegen den Boden angepresst werden. Diese Steine und der Felsboden, über welchen sie hingeschoben werden, werden durch ihre gegenseitige Reibung zu einem feinen Staub zermalmt, welcher das Wasser des aus dem unteren Ende des Gletschers hervorströmenden Baches trübe und milchig macht. Die Felsen des Thalgrundes und der Seitenwände werden natürlich die Spuren dieser gewaltigen Reibung zeigen; die scharfen Ecken und Kanten der Felsen werden abgestumpft und gerundet, die Flächen werden geebnet und förmlich geschliffen und polirt, und da, wo zufällig einzelne lose Gesteinsstücke zwischen dem Gletschereis und den seitlichen Felsen eingekeilt sind, werden durch das gewaltsame Fortschieben dieser Gesteinsfragmente in den seitlichen Felswänden Ritzen und Streifen hervorgebracht, welche die Wirkung der Gletscher wesentlich von der abrundenden und glättenden Wirkung des fliessenden Wassers unterscheiden.

Doppelte Brechung des Gletschereises. In dem Lehr- 193
buche der Physik ist gezeigt worden, dass das durch Gefrieren einer freien Wasseroberfläche gebildete Eis ein optisch einaxiger Krystall ist, dessen Axe rechtwinklig steht zur natürlichen Oberfläche der Eisplatte, und dass eine solche Platte, in entsprechender Weise dem polarisirten Lichte ausgesetzt, das bekannte Ringsystem mit schwarzem Kreuze zeigt.

Parallel mit der Axe, also rechtwinklig zur natürlichen Oberfläche geschnittene Eisplatten verhalten sich im polarisirten Lichte ganz so, wie gespaltene Gypsblättchen, nur sind sie weit dicker als Gypsblättchen, welche die gleiche Farbe zeigen. Solche parallel mit der Axe geschliffene Eisplatten, welche die brillanten Farben zweiter und dritter Ordnung zeigen, sind ungefähr 1 mm dick.

Eine so regelmässige Krystallstructur, wie man sie bei solchem Eise beobachtet, welches sich durch Gefrieren ruhig stehenden Wassers bildet, kann man bei unregelmässig zusammengefrorenen Eismassen, z. B. bei

Eisstalactiten, wie man sie im Winter an unseren Brunnen beobachtet, bei Hagelkörnern, bei Firn- und Gletscherkörnern u. s. w. nicht erwarten und in der That zeigen sich solche Eisstücke als aus einzelnen krystallisirten Partieen zusammengesetzt, welche bunt durcheinander nach den verschiedensten Richtungen orientirt sind. Eine ungefähr 3 mm dicke Platte von Gletschereis erscheint, auf das mittlere Tischlein eines gewöhnlichen Polarisationsapparates gelegt, zwischen gekreuzten Polarisatoren mit rothen, grünen, gelben und blauen Flecken gesprenkelt, welche mit schwarzen und grauen Bändern durchzogen sind. Dreht man die Eisplatte in ihrer Ebene um, so werden einzelne hellere Partieen dunkler, dunklere dagegen werden heller.

Diese Erscheinung bleibt so ziemlich dieselbe, wie auch die beiden Schnittflächen gegen die Oberfläche des Gletschers gerichtet sein mögen.

Etwas anders gestaltet sich die Erscheinung, wenn man eine Platte Gletschereis im mikroskopischen Polarisationsapparate betrachtet. Nun zeigen sich farbige Bänder, welche bald mehr bald weniger gekrümmt erscheinen und deren Anblick sich ändert, je nachdem man verschiedene Partieen der Platte in das Gesichtsfeld bringt. Hat man es aber mit einer Platte zu thun, welche, als sie noch mit der Gletschermasse vereinigt war, eine horizontale Schicht bildete, so zeigt dieselbe im Allgemeinen zwar dieselben Erscheinungen, an einzelnen Stellen aber erblickt man das Ringsystem einaxiger Krystalle mit dem schwarzen Kreuz so rein und schön wie in Platten von See-Eis.

Aus dem Allem ergiebt sich nun, dass das Gletschereis aus krystallinischen Schichten zusammengesetzt ist, welche nach allen möglichen Lagen bunt durch einander liegen und deren Axen nach allen möglichen Lagen orientirt sind; nur an einzelnen Stellen findet sich, wie bereits Grad nachgewiesen hat, regelmässig krystallisirtes Eis, dessen optische Axe wie die des Oberflächeneises vertical gestellt ist. Diese Orientirung kommt aber, wie bereits gesagt, nur einzelnen Partieen und keineswegs der ganzen Gletschermasse zu, so dass man es hier offenbar mit Eis zu thun hat, welches vorher in Höhlungen und Canälen als Flüssigkeit vorhanden war und erst nachträglich erstarrte.

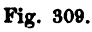
194 **Diathermanität des Gletschereises.** Nicht selten findet man im Inneren des Gletschereises Steine von 1 bis 30 cm Durchmesser, welche stets die Eigenthümlichkeit zeigen, dass sie keineswegs ringsum von Eis umgeben sind, sondern, dass sich oberhalb derselben ein hohler, gewölbeartiger Raum befindet, wie dies Fig. 308 anschaulich machen soll, dessen Querschnitt der Horizontalprojection des Steines gleich ist und dessen Höhe 5 bis 10 cm beträgt.

Forel, welcher diese Erscheinung näher untersuchte, fand dergleichen nur bis zu einer Entfernung von 40 cm von der Eiswand, sei es nun senkrecht unter der Oberfläche des Gletschers, sei es in Spalten bis zu einer Tiefe von 3 bis 4 m in horizontaler Richtung von der senk-

rechten Eiswand. Den Schlüssel zur Erklärung dieser auffallenden Erscheinung fand Forel in einem Versuch, welchen Dollfuss-Ausset angestellt hatte. Um den Nullpunkt eines Thermometers zu controliren, senkte er die Kugel desselben 3 cm tief in ein Gefäss mit Schnee. Im Schatten stellte es sich in der That auf 0°, aber den Strahlen der Sonne ausgesetzt, stieg es bis auf 0,4°. Der Versuch wurde in gleicher Weise


Fig. 308.




Fig. 309.



wiederholt, nachdem die Thermometerkugel mit einer Schicht von geschmolzener, durch Kohlenpulver geschwärzter Seife umgeben worden war. Im Schatten stellte es sich wieder auf 0°, den Sonnenstrahlen ausgesetzt stieg das in den Schnee eingesenkte Thermometer auf + 4° C.

Forel wiederholte diesen Versuch in der durch Fig. 309 erläuterten Weise: Das Gefäss des Thermometers wurde zunächst in das Innere einer Glasröhre von 1 cm Durchmesser und 7 cm Höhe eingesetzt und die Höhlung mit geschmolzenem Wachs gefüllt, welches durch feines Kohlenpulver geschwärzt war. Sodann wurde in ein 15 cm dickes Stück klaren Flusseises mittelst eines Strahles warmen Wassers ein 2 cm weites, zu seiner Oberfläche rechtwinkliges Loch gebohrt, das untere Ende desselben mit Schnee verstopft und dann die Glasröhre mit dem vollständig erkalteten Thermometergefäss in die Höhlung eingesetzt. Nachdem auch das obere Ende des Eisrohres mit Schnee zugestopft worden und das Ganze (8. Januar 1871) an einem beschatteten Orte aufgestellt worden war, stellte sich das Thermometer auf 0° fest, den Strahlen der Sonne ausgesetzt stieg es aber rasch und zwar in einer halben Stunde auf + 15°, in einer Stunde auf 16,8°, während die Temperatur des ringsum befindlichen Eises doch nicht über 0° sein konnte. Das Eis lässt also Wärmestrahlen durch, welche erst von dem geschwärzten Wachs absorbirt und in fühlbare Wärme verwandelt werden.

Ebenso verhält es sich mit den Steinen; sie werden durch Strahlen erwärmt, welche durch das 0° warme Eis hindurchgegangen sind, ohne

es zu schmelzen; der erwärmte Stein bewirkt eine Schmelzung der Eistheilchen, mit denen er in Berührung kommt, und da das auf diese Weise gebildete Wasser durch Spalten und Canäle abfliesst, so bildet er selbst die Höhlung, auf deren Boden er liegt.

195 **Die Gletscher verschiedener Gegenden.** Wir haben bis jetzt nur die Gletscher der Alpen betrachtet, welche vorzugsweise näher untersucht worden sind. Sehr mächtige Gletscher finden sich im Kaukasus, während die der Pyrenäen viel weniger ausgedehnt sind als die der Alpen. Auch Norwegen hat bedeutende Gletscher aufzuweisen, obgleich die Gebirgsformation ihrer Bildung nicht so günstig ist, als in den Alpen.

Je weiter ein Gebirge von dem Aequator entfernt ist, desto tiefer werden sich die Gletscher herabsenken, weshalb sie in den Polargegenden in sehr bedeutender Ausdehnung auftreten. Der zehnte Theil der Insel Island ist mit Gletschern bedeckt, und Grönland ist fast vollständig vergletschert; hier sowohl wie in Spitzbergen und bei der Maghellanstrasse reichen die Gletscher bis zum Meere hinab. Solche in das Meer vorgeschobene Gletschermassen werden öfters durch mancherlei Ursachen vom Lande losgelöst, und werden dann durch die Meeresströmungen als kolossale Eisberge weit von dem Orte ihrer Entstehung weggeführt.

Ausserhalb der Polargegenden findet man in keinem anderen Theile der Erde eine solche Anhäufung von Gletschern, wie in West-Tibet. Während das Mer de glace ungefähr 12 km und der Aletsch-Gletscher ungefähr 23 km lang sind, kommen hier von den mächtigen über 800 m hohen Gipfeln zahlreiche Gletscherströme herab, deren Länge 30 bis 60 km beträgt. Auch alle anderen Gletscherphänomene zeigen sich hier in riesigem Maassstabe; so sind dort die Spalten im Eise von grosser Breite und furchtbarer Tiefe. Bei einem Versuche, die Dicke des Eises in einem dieser gähnenden Abgründe zu messen, erreichte die 49 m lange Leine den Boden nicht. Messungen an den Enden der Gletscher ergaben eine Dicke von 100 bis 130 m; höher oben ist sie jedenfalls noch beträchtlicher. An der Oberfläche bilden sich Wasserströme und Seen von 1 bis 3 km Länge, deren Wasser gelegentlich mit einem lauten, brüllenden und intermittirenden Geräusch in grossen Höhlen oder „moulins" verschwindet.

Der Hauptgletscher des Baltoro zeigt eine wunderbare Anzahl riesiger Moränen, welche ihn streifenförmig in 15 Linien aus verschiedenem Gestein, wie grauem, gelbem, braunem, blauem und rothem, in verschiedenen Schattirungen überziehen, aber nur auf dem oberen Theile des Gletschers ganz getrennt von einander lagern, während sie am unteren Ende die ganze Oberfläche bedecken, so dass sie das Eis vollständig verbergen. In der Mitte dieser Moränen befindet sich ein Streifen von riesigen Eisblöcken, wie er auf anderen Gletschern noch nicht beobachtet worden ist (Petermann's Mittheilungen 1863, S. 66).

Nach dem was oben über die Bildung der Gletscher gesagt wurde, ist klar, dass der Wechsel der Jahreszeiten für dieselben wesentlich ist; die Gletscher fehlen deshalb auch in den schneebedeckten Gebirgen der Tropen; in der Aequatorialzone von Südamerika kommen keine Gletscher vor, obgleich die Cordillere dort weit in die Region des ewigen Schnees hineinragt. Nach den Beobachtungen von Philippi und Leybold kommen in Südamerika die Gletscher erst unter dem 35. Grad südlicher Breite am Descabezado de Maule und unter dem 36. Grade südlicher Breite am Nevado da Chillan vor.

In ausgezeichneter Weise ist das Gletscherphänomen in den zum ersten Male von Haast genauer untersuchten Alpen der Südinsel von Neu-Seeland entwickelt. Zwischen dem 43. und dem 44. Grade südlicher Breite schätzte Haast die Kammhöhe des Gebirges zu 2900 m, während die einzelnen Gipfel sich zu einer Höhe von 3200 bis 4200 m erheben. Die Grenze des ewigen Schnees findet sich in jener Gegend in einer Höhe von 2400 bis 2530 m. Aus den Firnfeldern, welche die kolossalen Schneepyramiden umgeben, entwickeln sich Gletscherströme, welche im Verhältniss zu den Berghöhen viel bedeutender sind als die Gletscher der europäischen Alpen (ohne Zweifel wegen des feuchten insularen Klimas von Neuseeland) und welche theilweise bis zu einer Tiefe von 1200 m über dem Meeresspiegel herabsteigen.

Auffallend gross ist die Masse des Gletscherschlammes, welchen viele der neuseeländischen Gletscherbäche mit sich führen. So ist z. B. das Wasser des von Gletscherbächen gespeisten drei geographische Meilen langen und eine Meile breiten Tekapo-Sees nicht klar, wie das Wasser der Schweizer Seen, sondern so milchig trübe, dass es in ein Glas geschöpft aussieht, als ob Milch in dem Glase gewesen und man Wasser dazu gegossen hätte. Nur nach Monate langem kaltem und trockenem Wetter klärt sich das Wasser etwas.

Die Eiszeit. Abgesehen davon, dass im Sommer das untere **196**
Gletscherende sich zurückzieht, während es im Winter vordringt, ist die mittlere Lage, um welche dasselbe im Laufe des Jahres schwankt, eine veränderliche, so dass oft längere Perioden hindurch der Gletscher vordringt, um sich dann für längere Zeit wieder zurückzuziehen.

Nach Fritz hat im Jahre 1540 ein Rückzug, dagegen 1575, ferner 1595 bis 1601 ein Vorrücken der Gletscher in den Alpen stattgefunden; 1602 begann der Grindelwaldgletscher sich zurückzuziehen. Ferner waren die Gletscher

im Vorrücken	im Rückzuge
1606 bis 1610 Tyrol	
1626 „	
1636 „	
1677 „	
1680 „	
1710 „	1719 Alpen
1736 Schweiz	1750 Schweiz
1757 bis 1777 „	1760 bis 1767 Tyrol
1780 „ 1786 „	1799 „
	1811, 1821 Schweiz
1812 „ 1820 Tyrol und Schweiz	
1826 „ 1831 Schweiz	nach 1827 Tendenz zum Rückzuge allgemein, besonders stark
1833 „ 1839 Schweiz, Tyrol	1837 bis 1842 Schweiz
1843 „ 1854 „ „	1852 „ 1857 Schweiz, Tyrol
1856 „ 1860 „ „	1860 „ 1867 „ „
1869 „ 1874 einige, Schweiz	1872 „ 1878 „ „
1878 „ 1880 westliche Schweiz	
1880 „ 1887 mehr und mehr östliche Schweiz.	1887 Schweiz eine Reihe wieder im Stillstande.

Während der Periode des starken Rückganges der Gletscher in den sechziger Jahren hatte sich der untere Grindelwaldgletscher so weit zurückgezogen, dass im Jahre 1865 ein bisher ganz mit Eis bedeckter Steinbruch frei wurde, in welchem man zwei im Jahre 1750 behauene Marmorblöcke vorfand, welche in den Garten des Museums zu Bern gebracht und mit einer entsprechenden Inschrift versehen wurden.

Es lässt sich mit einiger Wahrscheinlichkeit nachweisen, dass manche Gletscher der Schweiz im Mittelalter eine geringere Ausdehnung hatten, so dass über einige Pässe ein lebhafter Verkehr stattfand, welche gegenwärtig so vereist sind, dass sie höchstens von einzelnen Gemsjägern oder Touristen besucht werden. Dagegen war in vorhistorischen Zeiten die Ausdehnung der Alpengletscher eine bei weitem bedeutendere als sie gegenwärtig ist, wie aus den vielfachen Spuren hervorgeht, welche die Gletscherthätigkeit jener Zeiten zurückgelassen hat.

So findet man in vielen Alpenthälern, namentlich aber im Aarthale, in namhafter Höhe über der Thalsohle Felsen, welche deutliche Gletscherschliffe zeigen. Der Weg von Meyringen nach der Grimsel geht über Felsplatten, welche so glatt polirt sind, dass man Rinnen einhauen musste, um es für Menschen und Pferde möglich zu machen, mit Sicherheit darüber zu gehen.

Zu den Spuren, welche die Gletscher zurücklassen, gehören auch namentlich die sogenannten Gletschermühlen oder Riesentöpfe. Wo ein Gletscher sich bis in eine Gegend herunter erstreckt, in welcher

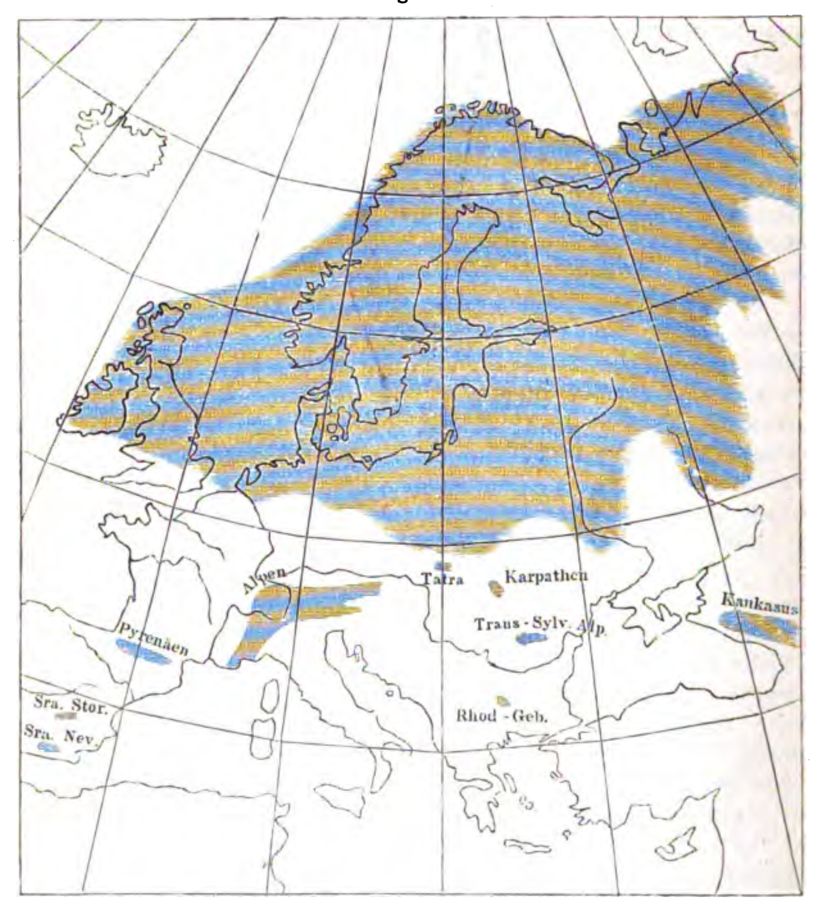
die Lufttemperatur höher als 0° ist, da wird das Eis an seiner Oberfläche in fortwährendem Abschmelzen begriffen sein, es werden sich Wasserströme bilden, welche in die Eisspalten hinunterstürzen. Befindet sich nun am Grunde eines so enstandenen Wasserfalles ein Stein, so kann dieser durch die Gewalt des fortwährend herunterstürzenden Wassers, ebenso wie dies bei gewöhnlichen Wasserfällen vielfach beobachtet werden kann, in strudelnde oder kreisende Bewegung kommen, bei welcher er abschleifend wie ein gewaltiger Bohrer auf seine Unterlage wirkt, und kesselförmige Höhlungen in dieselbe einschleift. Solche Strudellöcher mit den dazu gehörenden Steinen finden sich in hervorragendem Maasse in dem sogenannten Gletschergarten in Luzern, welcher im Jahre 1872 aufgedeckt wurde, und zeigt, dass auch diese Gegend einst unter einem Gletscher vergraben war. Das grösste der 18 in dem genannten Garten befindlichen Strudellöcher hat einen Durchmesser von 8,5 und eine Tiefe von 10 m.

Es wurde ferner schon erwähnt, dass eine begleitende Erscheinung der Gletscher die sogenannten Seiten- und Frontmoränen sind. Gletscherschliffe und Moränen finden sich nun an vielen Orten, welche jetzt weit von allen Gletschern entfernt sind, und beweisen, dass früher die Eisverbreitung in weit bedeutenderem Maasse als jetzt stattfand. Die Gletscher der Alpen erstreckten sich einst nach Norden hin bis in die Gegend, wo jetzt München liegt, nordöstlich bis in die Gegend von Wien, südlich bis jenseits des Gardasees, und südwestlich lassen sich Spuren der einstigen Vereisung bis in die Gegend von Lyon und Nizza erkennen. Aber weit grössere Eismassen befanden sich vormals im nördlichen Europa. Ganz Skandinavien, der nordwestliche Theil Russlands, ganz Norddeutschland, Schottland, Irland und England, mit Ausnahme des südlichsten Theiles, waren in Eis vergraben, ferner der grösste, nördlich gelegene Theil von Nordamerika, theilweise bis zum 38. Grade nördlicher Breite. Auch auf der südlichen Halbkugel finden wir weitgehende Spuren früherer Vergletscherung. In den Cordilleren existiren jetzt wohl manche Firnfelder, aber verhältnissmässig wenige Gletscher. In früheren Zeiten war dagegen ein grosser Theil Südamerikas, vom Aconcagua ab bis zum Cap Horn, unter Eismassen vergraben. So hat man auch in Südafrika, Ostindien, vereinzelt in Australien, namentlich aber in einem grossen Theile von Neuseeland Spuren einer einstigen Vergletscherung gefunden, und in manchen Gegenden der Erde, z. B. in Norddeutschland, lassen sich sichere Spuren einer mindestens zweimaligen Vereisung nachweisen.

Ueberall haben seit jenen Zeiten die Gletscher an Ausdehnung bedeutend abgenommen, und nur das in Eis vergrabene Grönland bietet noch ein Bild eines grossen vergletscherten Landes. In Grönland sind jetzt etwa 2 Millionen Quadratkilometer Landes unter Eis vergraben. Während der Eiszeit waren dagegen in Nordeuropa 6 Millionen und in Nordamerika 9 Millionen Quadratkilometer Landes vergletschert. Aber ein Bild des damaligen Zustandes des vergletscherten Landes erhalten wir doch durch die neuerdings

in Grönland ausgeführten Untersuchungen. Dort hat sich gezeigt, dass das Eis überall in der Nähe des Meeres die geringste Höhe hat und weiter im Inlande ansteigt. 70 bis 80 km von der Küste beträgt die Höhe des Eises etwa 1300 m über dem Meere; hier tauchen noch einzelne Bergspitzen über

Fig. 310.



Karte der einstigen Gletscherverbreitung in Europa (nach Penck und Neumayr).

seiner Oberfläche hervor, aber weiter im Innern erreicht das Eis eine Höhe von mehr als 1650 m, und alle Bergspitzen sind von ihm bedeckt.

Aehnlich müssen wir uns den Zustand Europas während der Eiszeiten denken. Während der ersten der beiden für Norddeutschland sicher nachweisbaren Vergletscherungen nahm diese ihren Ursprung auf der skandinavischen Halbinsel und Finnland; von dort breitete sie sich fächerförmig aus und bedeckte weithin das Land mit langsam abnehmender

Höhe, westwärts bis zur Westküste von Irland und Holland, südostwärts bis Kiew und Nischnij-Nowgorod, während sie in Deutschland etwa beim Harz und Riesengebirge ihr Ende fand (s. Fig. 310). In den Grenzgebieten war das Eis, wie jetzt in Grönland am Meeresufer, am niedrigsten, im Ausgangsgebiete in Skandinavien und Finnland am höchsten, und es lässt sich mit ziemlicher Sicherheit nachweisen, dass die durchschnittliche Höhe des Eises gegen 1000 m betragen hat. Gegen diese Dimensionen ist die Tiefe der Nord- und Ostsee, welche jetzt im Mittel resp. 88 und 66 m beträgt, verschwindend klein; — beide Meere wurden vollständig vom Eise ausgefüllt, ihre Gewässer verdrängt, soweit sie nicht gefroren, und über sie hinweg nahm die gewaltige Eismasse ihren Weg, alles weiche und bewegliche Material aufwühlend und theilweise mit sich fortführend, und Widerstand leistende Felsen abschleifend. Eine ungeheure Menge von Gesteinen ist auf diese Weise von Skandinavien und Finnland in ferne Gegenden transportirt, horizontale Kreideschichten des Meeresbeckens aufrecht gestellt, Hügel vernichtet und anderswo aufgestaut, und Thäler gebildet, wo früher keine waren. Dann kam eine Zeit des Abschmelzens des Eises; mächtige Ströme bildeten sich, die Thäler füllten sich mit Wasser, und allmählich entstand wieder eine Vegetation, wo sie lange Zeit durch das Eis vernichtet war. Dann kam nach vielen Jahren eine neue Eiszeit, die aber ihren Ausgangspunkt nicht mehr in Skandinavien, sondern weiter südöstlich hatte. Während die erste Vergletscherung in Deutschland hauptsächlich in der Richtung von Nordosten nach Südwesten vor sich ging, so nahm die zweite ihre Richtung von Osten nach Westen. Sie war weniger ausgedehnt als die erste, aber doch wurde wieder die ganze Ostsee vom Eise erfüllt, und wieder wurden enorme Geschiebemassen über das vergletscherte Land ausgebreitet. Dann trat wieder ein Abschmelzen des Eises ein, die Gletscher verschwanden langsam, und allmählich nahm, nachdem die ablaufenden Gewässer verlaufen waren, das nordeuropäische Tiefland seinen jetzigen Charakter an. Lange Zeit war man über den Ursprung der in zahllosen Mengen in Norddeutschland verbreiteten sogenannten Findlings- oder erratischen Blöcke im Zweifel. Man glaubte, sie seien auf Eisschollen über das Meer aus Norwegen, Schweden, Finnland und den Ostseeprovinzen nach Deutschland gebracht, bis sich in verhältnissmässig neuer Zeit durch unverkennbare Spuren hat nachweisen lassen, dass ihr Transport durch Gletscher bewirkt ist.

Es fehlt nun nicht ganz an Anhaltspunkten für die Untersuchung der Frage, wie das Klima Europas während der Eiszeit gewesen sein mag. Zunächst sind wir im Stande, mit einiger Sicherheit anzugeben, in welcher Höhe sich die Schneegrenze in den Bergen befand. Denn es reichen zwar die Gletscher, wie wir gesehen haben, häufig tief in die Thäler herab, aber ihren oberen Ausgangspunkt können sie doch nur in der Region des ewigen Schnees nehmen, da wo die Temperatur nicht hoch genug ist, um den gefallenen Schnee zu schmelzen. Nun hat

Penck mit Sorgfalt untersucht, von welchen Bergen früher Gletscher herabgekommen sind und von welchen nicht, und ist dabei zu dem Resultate gekommen, dass während der Eiszeit in den Alpen die Schneegrenze um 1000 m niedriger lag als jetzt. Das gleiche Verfahren wurde auch auf andere einst vergletschert gewesene Länder angewandt, und es hat sich fast überall genähert das gleiche Resultat ergeben. Hieraus lässt sich nun aber berechnen, um wieviel niedriger die Temperatur damals war als jetzt. Denn wir haben gesehen, dass die Temperatur sich durchschnittlich für etwa 200 m Höhenunterschied um 1° C. ändert, und hat also zur Eiszeit die Schneegrenze um 1000 m niedriger gelegen als jetzt, so würde daraus folgen, dass die Temperatur um ungefähr 5° C. niedriger gewesen ist. Eine derartige Temperaturerniedrigung würde aber für die meisten vergletschert gewesenen Gegenden keine auffällig niedrige mittlere Jahrestemperatur hervorbringen, wenn man sie mit derjenigen vergleicht, welche im Mittel auf der entsprechenden geographischen Breite stattfindet. So ist z. B. jetzt die mittlere Jahrestemperatur in Berlin = + 9,0° C., und wir würden nach dem Vorhergegangenen annehmen können, dass sie während der Eiszeit = + 4,0° C. gewesen ist. Nun ist die geographische Breite von Berlin = $52^1/_2{}^0$ und nach der Tafel (S. 516) ergiebt sich für diese Breite die mittlere Jahrestemperatur genau ebenfalls = + 4,0° C., woraus folgt, dass für die Gegend von Berlin die mittlere Temperatur während der Eiszeit nicht unter den für die Jetztzeit geltenden mittleren Betrag der entsprechenden geographischen Breite herabgegangen ist. Aehnliche Resultate ergeben sich für andere in der Vorzeit vergletschert gewesene Gegenden.

Bezüglich der Ursachen der früheren bedeutenden Eisverbreitung sind mancherlei Hypothesen aufgestellt worden. Einestheils hat man angenommen, dass das Sonnensystem bisweilen in besonders kalte Regionen des Weltraumes gelangt ist, anderntheils hat man geglaubt, dass auf die Gletscherbildung die Richtung des Perihels der Erdbahn einen bedeutenden Einfluss übe. In der jetzigen Zeit befindet sich nämlich die Erde am Anfange des Jahres in der Sonnennähe, zu einer Zeit, wenn auf der nördlichen Halbkugel Winter, auf der südlichen aber Sommer herrscht. Nun ändert sich aber die Richtung der Apsidenlinie, also auch die Richtung nach demjenigen Punkte des Himmels, in welchem die Sonne während ihrer Erdnähe steht, gegen den Frühlingspunkt sowohl in Folge der Aenderung der Lage der Apsidenlinie selbst, als auch in Folge der Präcession des Frühlingspunktes. Die erstere ist in ihrer Geschwindigkeit etwas veränderlich, geht aber im Mittel um etwa 0,3125° in 100 Jahren vorwärts. Der Frühlingspunkt geht dagegen in jedem Jahrhundert um 1,3947° rückwärts, die relative Lage der Apsidenlinie gegen den Frühlingspunkt ändert sich demnach in einem Jahrhundert um 1,71°, und in etwa 21 000 Jahren um 360°. Es folgt daraus, dass vor 10 500 Jahren die Erde sich am Anfange des Juli, d. h. während des Sommers der nördlichen, oder während des Winters der südlichen Halb-

kugel in der Sonnennähe befunden hat, so dass also die Sommer der nördlichen Halbkugel wärmer, die Winter dagegen kälter gewesen sein müssen. Ueberdies aber bewegt sich die Erde während ihrer Sonnennähe mit der grössten Geschwindigkeit in ihrer Bahn, es würde dadurch die Zeit der hohen Temperatur verkürzt, und die der niedrigen Temperatur verlängert worden sein, und im Mittel würde der nördlichen Halbkugel etwas weniger, und der südlichen etwas mehr Sonnenwärme zugeflossen sein. Es lässt sich aber leicht zeigen, dass eine niedrige Temperatur durchaus nicht hinreichend für eine Gletscherbildung ist, sondern dass dabei noch ganz andere Factoren, wie z. B. die Vertheilung von Wasser und Land, sowie die Meeres- und Luftströmungen, eine bedeutende Rolle spielen. Wir finden z. B., dass in der Jetztzeit unter dem 65. Grade nördlicher Breite Gletscher vorhanden sind in Grönland bei einer mittleren Jahrestemperatur im Meeresniveau von etwa — 3° C.; auf Island bei einer mittleren Jahrestemperatur von + 3° C., und in Norwegen bei einer mittleren Jahrestemperatur von + 4° C., wogegen in Asien in gleicher geographischer Breite selbst bei einer mittleren Jahrestemperatur von — 14° C. keine Spur einer Gletscherbildung vorhanden ist. In den Gebirgen entstehen dort Gletscher, wo eine warme feuchte Luft rasch in solche Regionen geführt wird, in welchen sie unter den Gefrierpunkt abkühlt, und es scheint überhaupt für die Gletscherbildung erforderlich zu sein, dass starke Temperaturgegensätze in räumlich nahe gelegenen Gebieten vorhanden sind. So steht Grönland theilweise unter der Wirkung des warmen Golfstromes, theilweise unter derjenigen der kalten Labradorströmung, wie sich deutlich aus der Richtung der dortigen Isothermen ergiebt, während auf Island und in Norwegen der Golfstrom in Verbindung mit der Höhe der dortigen Berge die Gletscherbildung begünstigt. Es ist sehr wohl denkbar, dass, wenn eine Verbindung der Ostsee mit dem Weissen Meere in der Gegend entstände, wo sich der Ladoga- und Onegasee befinden, dann eine eiskalte Meeresströmung vom Eismeere aus durch die Ostsee gehen, und nicht nur die Temperatur im nordöstlichen Europa sowie in Deutschland bedeutend erniedrigen, sondern auch in Verbindung mit dem warmen Golfstrome in Skandinavien eine ausserordentlich starke Gletscherbildung hervorrufen würde.

Da wir nun über die Vertheilung von Wasser und Land während der Glacialperiode nur wenig, und über die damals herrschenden Luft- und Meeresströmungen gar Nichts wissen, so ist es auch nicht möglich, mit einiger Bestimmtheit die näheren Bedingungen zu erkennen, unter welchen die grosse Gletscherbildung vergangener Zeiten vor sich gegangen ist.

Absorption der Wärmestrahlen durch die Atmosphäre. 197

Wenn man mit Hülfe einer Sammellinse Zunder durch Concentration der Sonnenstrahlen anzünden will, so wird man einen grossen Unterschied

finden, je nachdem man den Versuch Mittags anstellt, wo die Sonne hoch am Himmel steht, oder des Abends, wenn sie ihrem Untergange nahe ist; während sich der Schwamm des Mittags leicht entzündet, geschieht dieses am Abend entweder nur sehr schwierig oder gar nicht; die Intensität der von der Sonne zu uns kommenden Wärmestrahlen ist also in diesen beiden Fällen eben so ungleich wie die Intensität der Lichtstrahlen; Abends können wir die rothgelbe Scheibe der untergehenden Sonne wohl ansehen, Mittags aber wird das Auge durch den Glanz der Sonnenstrahlen geblendet.

Fig. 311.



Dieser Unterschied in der Intensität der Licht- und Wärmestrahlen, welche von der Sonne zu uns kommen, rührt offenbar daher, dass der Weg, welchen die Sonnenstrahlen durch die Atmosphäre hindurch zurückzulegen haben, bedeutend grösser ist, wenn die Sonne dem Horizonte nahe steht; je grösser aber der Weg ist, den die Sonnenstrahlen in der Atmosphäre zurücklegen, desto mehr Licht und Wärme wird absorbirt werden.

Um annähernd die Wärmeabsorption in der Atmosphäre zu bestimmen, hat Herschel ein Instrument construirt, welches den Namen Pyrheliometer hat. Pouillet gab diesem Instrumente folgende vervollkommnete Einrichtung:

Das cylindrische Gefäss *v*, Fig. 311, ist aus dünnem Silberblech gemacht; sein Durchmesser beträgt ungefähr 1 dcm, seine Höhe 14 bis 15 mm, so dass es ungefähr 100 g Wasser aufnehmen kann. In dem Gefässe befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre durch einen das Gefäss verschliessenden Kork in eine hohle Metallröhre hineinragt; diese Metallröhre geht durch zwei Hülsen bei *c* und *c′*, so dass sie mit dem Gefässe *v* mittelst des Knopfes *b* beständig um ihre Axe gedreht werden kann; diese Umdrehung hat den Zweck, das Wasser im Gefässe *v*

in beständiger Bewegung zu erhalten, damit sich die Wärme in demselben möglichst gleichförmig verbreitet.

Die obere Fläche des Gefässes v ist mit Russ sorgfältig geschwärzt. Die Scheibe d hat denselben Durchmesser wie das Gefäss v; richtet man also das Instrument so gegen die Sonne, dass der Schatten des Gefässes v gerade die Scheibe d deckt, so kann man sicher sein, dass die Sonnenstrahlen die vordere Fläche des Gefässes rechtwinklig treffen.

Wenn die geschwärzte Oberfläche des Instrumentes rechtwinklig von den Sonnenstrahlen getroffen wird, so steigt die Temperatur des Wassers in v über die der Umgebung.

Wenn das Gefäss v sich erwärmt, so verliert es auch Wärme, theils durch Strahlung gegen den Himmelsraum, theils an die Umgebung. Wenn ein solcher Verlust nicht stattfände, so würde die durch den wärmenden Einfluss der Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung des Gefässes v jedenfalls bedeutender sein als die, welche man beobachtet; um also auf die Wärme schliessen zu können, welche dem Instrumente wirklich durch die Sonnenstrahlen zugeführt wird, ist an den beobachteten Temperaturerhöhungen eine Correction anzubringen. Der Versuch wird deshalb in folgender Weise angestellt.

Wenn das Wasser in dem Gefässe die Temperatur der umgebenden Luft hat, wird das Instrument nahe an dem Orte, wo man es den Sonnenstrahlen aussetzen will, im Schatten aufgestellt, und zwar so, dass die Wärme von der berussten Fläche frei gegen den Himmel ausstrahlen kann. Man beobachtet nun fünf Minuten lang die Erkaltung; in der folgenden Minute bringt man einen Schirm vor die schwarze Fläche und richtet dann den Apparat so, dass die Sonnenstrahlen rechtwinklig einfallen, wenn man am Ende der sechsten Minute den Schirm wegnimmt. Während der folgenden fünf Minuten beobachtet man die durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, indem man das Wasser des Gefässes v in beständiger Bewegung erhält; am Ende der elften Minute setzt man den Schirm wieder vor, zieht den Apparat an seine frühere Stelle zurück und beobachtet dann die während der folgenden fünf Minuten stattfindende Erkaltung.

Es sei g die in fünf Minuten durch die Sonnenstrahlen hervorgebrachte Temperaturerhöhung, r und r' die Temperaturabnahme, welche der Apparat in den fünf vorhergehenden und in den fünf folgenden Minuten erleidet, so ist die Temperaturerhöhung t, welche durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht sein würde, wenn kein Wärmeverlust stattgefunden hätte:

$$t = g + \frac{r + r'}{2}.$$

Die folgende Tabelle enthält die Resultate von fünf Beobachtungsreihen, welche Pouillet mit dem Pyrheliometer angestellt hat.

Beobachtungsstunden	Dicke der durchlaufn. Luftschicht	Beobachtete Temperatur-erhöhung	Berechnete Temperatur-erhöhung	Unterschiede
		Am 28. Juni 1837		
7 Uhr 30 M. Morgens .	1,860	3,80⁰	3,69⁰	+ 0,11
10 „ 30 „ „ .	1,164	4,00	4,62	— 0,62
Mittag	1,107	4,70	4,70	0
1 Uhr	1,132	4,65	4,67	— 0,02
2 „	1,216	4,60	4,54	+ 0,06
3 „	1,370	„	4,32	„
4 „	1,648	4,00	3,95	+ 0,05
5 „	2,151	„	3,36	„
6 „	3,165	2,40	2,42	— 0,02
		Am 27. Juli 1837		
Mittag	1,147	4,90	4,90	0
1 Uhr	1,174	4,85	4,86	— 0,01
2 „	1,266	4,75	4,74	+ 0,01
3 „	1,444	4,50	4,51	— 0,01
4 „	1,764	4,10	4,13	— 0,03
5 „	2,174	3,50	3,49	+ 0,01
6 „	3,702	3,35	3,42	— 0,07
		Am 22. September 1837		
Mittag	1,507	4,60⁰	4,60⁰	0
1 Uhr	1,559	4,50	4,54	— 0,04
2 „	1,723	4,30	4,36	— 0,06
3 „	2,102	4,00	3,97	+ 0,03
4 „	2,898	3,10	3,24	— 0,14
5 „	4,992	„	1,91	„
		Am 4. Mai 1838		
Mittag	1,191	4,80	4,80	0
1 Uhr	1,223	4,70	4,76	— 0,06
2 „	1,325	4,60	4,62	— 0,02
3 „	1,529	4,30	4,36	— 0,06
4 „	1,912	3,90	3,92	— 0,02
5 „	2,603	3,20	3,22	— 0,02
6 „	4,311	1,95	1,94	+ 0,01

Beobachtungsstunden	Dicke der durchlaufn. Luftschicht	Beobachtete Temperatur-erhöhung	Berechnete Temperatur-erhöhung	Unterschiede
		Am 11. Mai 1838		
11 Uhr	1,193	5,05	5,06	— 0,01
12 „	1,164	5,10	5,10	0
1 „	1,193	5,05	5,06	— 0,01
2 „	1,288	4,85	4,95	— 0,10
3 „	1,473	4,70	4,73	— 0,03
4 „	1,812	4,20	4,37	— 0,17
5 „	2,465	3,65	3,67	— 0,02
6 „	3,943	2,70	2,64	+ 0,06

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Beobachtungsstunden, die zweite die Dicke der von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht, die verticale Höhe der Atmosphäre gleich 1 gesetzt; die dritte enthält die beobachtete, die vierte die von Pouillet nach einer Formel, von der sogleich die Rede sein wird, berechnete Temperaturerhöhung des Wassers im Pyrheliometer.

Aus dieser Tabelle sehen wir nun zunächst, dass die Sonnenstrahlen um so mehr an wärmender Kraft verlieren, je weiter der Weg ist, welchen sie in der Atmosphäre zurückzulegen haben. Betrachten wir z. B. die Beobachtungen vom 11. Mai 1838, so finden wir, dass um 1 Uhr Nachmittags die Temperaturerhöhung 5,05° betrug, um 5 Uhr, wo die Dicke der durchlaufenen Luftschicht ungefähr doppelt so gross war, betrug die Temperaturerhöhung nur 3,65°, sie war also um 1,4° geringer; für die dreifache Dicke der Luftschicht, ungefähr um 6 Uhr Abends, war die Temperaturerhöhung nur 2,7°, also abermals um 0,9° geringer.

Man sieht daraus, dass die wärmende Kraft der Sonnenstrahlen in einem etwas weniger raschen Verhältniss abnimmt als die Dicke der durchlaufenen Luftschicht wächst.

Es fragt sich nun, ob man aus solchen und ähnlichen Versuchen ein Gesetz für die Absorption der Wärmestrahlen in der Luft in der Weise ableiten kann, dass sich daraus die absolute Grösse der atmosphärischen Absorption ergiebt, dass man also die Temperaturerhöhung berechnen kann, welche das Wasser im Heliometer erfahren würde, wenn man das Instrument an die Grenze der Atmosphäre bringen könnte.

Pouillet hat gefunden, dass sich die Formel

$$t = ap^{\varepsilon}$$

recht gut den Beobachtungen anschliesst, wenn man für a immer den constanten Werth 6,72, für p aber einen Werth setzt, der von einem Tage zum anderen sich ändert. Dieser Werth von p ist nach den Beobachtungen vom

28. Juni	0,7244
27. Juli	0,7585
22. September . . .	0,7780
4. Mai	0,7556
11. Mai	0,7888

Für ε ist die jedesmalige Dicke der durchlaufenen Luftschicht zu setzen, wie sie in der zweiten Columne steht; nach dieser Formel sind die Werthe der vierten Columne berechnet.

Pouillet schliesst nun weiter, dass, wenn man in dieser Formel $\varepsilon = 0$ setzt, man die Temperaturerhöhung erhalten müsse, welche das Pyrheliometer an der Grenze der Atmosphäre oder in dem Falle erfahren würde, dass die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte. Man erhält für $\varepsilon = 0$

$$t = a = 6,72.$$

An der Grenze der Atmosphäre würde demnach die Temperatur des Instrumentes um 6,72° über die Temperatur der Umgebung steigen. Es werden demzufolge selbst am Mittag an ganz heiteren Tagen ungefähr $^1/_3$ der von der Sonne kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt; wenn der Himmel bewölkt oder nur mit einem Schleier überzogen ist, muss die Wärmeabsorption in der Luft noch viel bedeutender sein.

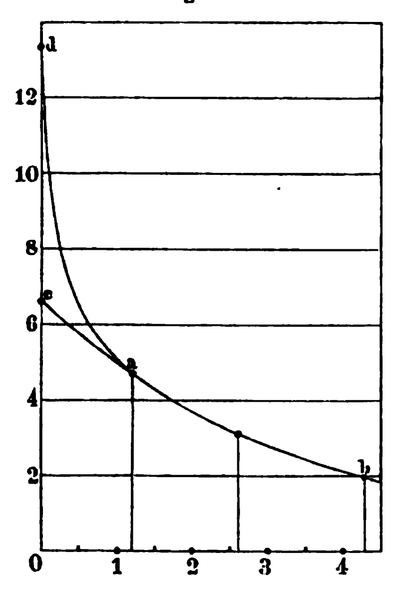
Dieses Resultat kann jedoch kaum als ein annähernd richtiges angesehen werden, wie sich aus folgender Betrachtung ergiebt.

In dem Lehrbuch der Physik (8. Aufl. 2. Bd. 2. Abth. S. 556) ist gezeigt, dass, wenn Wärmestrahlen auf ein absorbirendes Mittel fallen, in den ersten Schichten eine stärkere Absorption stattfindet als in den folgenden. Die Wärmemengen, welche durch eine Glasplatte von 3, von 5 und von 7 mm Dicke gehen, verhalten sich zu einander, wenn als Wärmequelle die Locatelli'sche Lampe dient, wie 65,3 : 62 : 60. Gesetzt nun, man hätte nur mit diesen drei Platten Versuche angestellt, man wüsste aber nicht, welches die directe Wirkung der Wärmequelle ist, könnte man sie wohl mit einiger Sicherheit aus diesen drei Versuchen ableiten? Gewiss nicht! Hier aber haben wir genau denselben Fall.

Die Curve ab, Fig. 312, stellt das Gesetz dar, nach welchem die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen abnimmt, wenn die Dicke der Luftschicht wächst. Die Curve ist nach den am 4. Mai 1838 Mittags um 5 und um 6 Uhr gemachten Beobachtungen construirt, die Dicken der durchlaufenen Schichten sind als Abscissen, die entsprechenden Temperaturerhöhungen als Ordinaten aufgetragen. Um zu finden, wie gross die Temperaturerhöhung an der Grenze der Atmosphäre sein würde, muss man die Curve auch noch jenseits a, nach der Ordinate 0 hin, so verlängern, wie das Curvenstück innerhalb ab andeutet, d. h. so, dass das angesetzte Curvenstück mit dem schon vorhandenen eine continuirliche krumme Linie bildet; auf diese Weise ist die Curve bis c fortgesetzt,

und danach wäre denn allerdings die Temperaturerhöhung an der Grenze der Atmosphäre 6,7°; allein wir können die Curve *ba* auch noch auf andere Weise fortsetzen, wir können sie nach *d* führen, und die Curve *dab* würde immer noch eine continuirliche krumme Linie sein, und wenn dieser Lauf der Curve das wahre Verhältniss darstellte, so würde die Temperaturerhöhung an der Grenze der Atmosphäre 13° sein, in diesem Falle würden selbst am Mittag weit mehr als die Hälfte aller von der Sonne zur Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt. Eines ist so gut möglich wie das andere, der Lauf der Curve innerhalb *ab* enthält nicht Bestimmungsstücke genug, um sie ausserhalb dieser Grenzen mit Sicherheit fortsetzen zu können.

Fig. 312.



Wenn man eine Formel ausfindig macht, welche sich wie die Pouillet'sche den Beobachtungen ziemlich gut anschliesst, so folgt daraus noch nicht, dass sie den wahren Zusammenhang darstellt; man kann noch viele andere Formeln ausfindig machen, welche eben so gut, vielleicht auch noch besser, zu den Beobachtungen passen und welche doch für den Fall, dass man die Dicke der durchlaufenen Luftschicht gleich Null setzt, ganz andere Werthe für die Temperaturerhöhung an der Grenze der Atmosphäre geben.

Solche Formeln sind ganz zweckmässig, um innerhalb der Beobachtungsgrenzen Zwischenwerthe zu berechnen, über diese Grenzen hinaus kann man sie jedoch nicht mehr mit Sicherheit gebrauchen. Hätte man z. B. für verschiedene Temperaturen zwischen 20° und 80° die Dichtigkeit des Wassers mit der grössten Genauigkeit bestimmt, hätte man für die Abhängigkeit zwischen der Temperatur und der Dichtigkeit eine Formel construirt, welche sich den Beobachtungen sehr gut anschliesst, so würde sich aus denselben doch wohl schwerlich beweisen lassen, dass das Wasser bei 4° ein Dichtigkeitsmaximum hat, wenn man es nicht schon zum Voraus gewusst hätte.

Aus der Betrachtung der Fig. 312 zeigt sich, dass man die Curve von *a* aus nicht wohl zu einem tieferen Punkte der Ordinate 0 führen kann als zum Punkte *c*, dass also die Wärmeabsorption in der Atmosphäre wenigstens so gross ist, wie Pouillet gefolgert hat, d. h. dass also selbst für grosse Sonnenhöhen wenigstens $^1/_3$ aller von der Sonne nach der Erde kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt werden.

Dass aber die Absorption der Wärmestrahlen in der Luft in der That eine viel bedeutendere sein muss, als man nach der Pouillet'schen Rechnung erwarten sollte, geht auch aus den im zweiten Bande des Lehrbuchs der Physik besprochenen Versuchen Tyndall's über die Diathermanität der Gase, sowie aus den oben §. 149, S. 426 besprochenen Resultaten hervor, zu welchen Wild in Betreff der Lichtabsorption in der Atmosphäre gelangt ist.

Pouillet berechnet in der Voraussetzung, dass die Temperaturerhöhung des Pyrheliometers in fünf Minuten wirklich 6,72° betragen würde, wenn die Atmosphäre keine Wärmestrahlen absorbirte, die Wärmequantität, welche in der angegebenen Zeit dem Instrumente durch die Sonnenstrahlen zugeführt würde; daraus schliesst er weiter auf die Wärmemenge, welche überhaupt von der Sonne auf die Erde gelangt, und kommt so zu dem Resultat, dass, wenn die Wärmemenge, welche die Sonne im Laufe eines Jahres auf die Erde sendet, auf derselben gleichförmig vertheilt wäre und sie ohne Verlust zum Eisschmelzen verwendet würde, alsdann im Stande wäre, eine die Erde einhüllende Eisschicht von 31 m Dicke zu schmelzen; und ferner, dass, wenn die Sonne ringsum von Eis umgeben wäre, und alle von ihr ausgehende Wärme ausschliesslich verwendet würde, um dieses Eis zu schmelzen, alsdann in einer Minute eine Schicht von 12 m Dicke weggeschmolzen werden würde.

Da die Grundlage der Betrachtungen und Rechnungen, durch welche Pouillet zu diesem Resultate gelangte, zu unsicher ist, so ist wohl eine nähere Erörterung derselben überflüssig.

198 **Die nächtliche Strahlung.** Gleichwie der unmittelbar von den Sonnenstrahlen getroffene Boden eine höhere Temperatur annimmt als die umgebende Luft, so sinkt die Temperatur des Bodens auch unter die Lufttemperatur, wenn er des Nachts seine Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlt, ohne dass ihm von dorther ein Ersatz für seinen Wärmeverlust zukäme, wie dies unter anderen die von Wells angestellten Versuche beweisen.

Wenn man in einer ruhigen, heiteren Nacht kleine Massen von Heu oder Gras, Wolle, Baumwolle oder andere lockere, die Wärme schlecht leitende Substanzen auf den Boden legt, so findet man nach einiger Zeit, dass ihre Temperatur 6, 7, ja 8° C. niedriger ist als die Temperatur der Luft, in einer Höhe von 2 bis 3 m über dem Boden.

An Orten, an welche die Sonnenstrahlen nicht hindringen, von welchen aus aber ein grosser Theil des Himmels sichtbar, ist dieses Sinken der Temperatur des Grases, der Baumwolle u. s. w. unter die Lufttemperatur schon drei bis vier Stunden nach Mittag merklich; aber erst die nächtliche Strahlung bringt eine bedeutende Erkaltung der Erdoberfläche hervor.

Wilson beobachtete des Nachts einen Unterschied von fast 9° C. zwischen der Temperatur der Schneeoberfläche und der Lufttemperatur. Scoresby und Parrot haben in den Polarzonen ähnliche Beobachtungen bei einer Lufttemperatur von — 20° C. gemacht.

Fig. 313.



Um die Gesetze der nächtlichen Strahlung zu ermitteln, hat Pouillet ein Instrument construirt, welches er Actinometer nennt und welches Fig. 313 dargestellt ist. Es besteht aus einem Thermometer, welches in einem Metallcylinder horizontal in solcher Weise angebracht ist, dass durch Schwanenfedern jede Wärmezuleitung von unten und von der Seite her gehindert wird. Wenn dieser Apparat in einer heiteren Nacht ins Freie gestellt wird, so muss das Thermometer natürlich bedeutend unter die Temperatur der umgebenden Luft sinken. Die folgende Tabelle enthält einige Resultate, welche Pouillet mit diesem Instrumente erhalten hat.

Tage	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterschiede	Tage	Stunden	Temperatur der Luft	Temperatur des Actinometers	Unterschiede
Vom 20. bis 21. April					Vom 5. bis 6. Mai				
20. Apr.	8 Uhr Abds.	5,6	— 0,8	6,4	5. Mai	5 Uhr Abds.	25,5	19,9	5,6
	9 " "	4,5	— 2,0	6,5		6 " "	25,1	17,5	7,6
	10 " "	3,6	— 3,0	6,6		7 " "	23,1	15,0	8,1
21. Apr.	4½ " Mrgs.	0,0	— 7,0	7,0		8 " "	22,9	13,9	9,0
	5 " "	0,0	— 7,0	7,0		9 " "	21,5	12,5	9,0
	5½ " "	0,1	— 6,5	6,6		10 " "	17,5	10	7,5
					6. Mai	4 " Mrgs.	12,1	5	7,1
						4½ " "	12,1	5	7,1
						5 " "	12	6	6,0

Diese Versuche zeigen uns, dass die Temperatur des Actinometers fast in derselben Weise abnimmt, wie die Temperatur der Luft, dass also bei niedriger Lufttemperatur eine eben so starke Strahlung gegen den Himmelsraum stattfindet wie bei hoher.

Diese Wirkungen der nächtlichen Strahlung beweisen, dass die Temperatur des Weltraumes eine sehr niedrige sein müsse. Nach Fourier ist die Temperatur des Weltraumes — 50° bis 60° C.; Arago war dagegen der Ansicht, dass sie jedenfalls weit geringer sein müsse, da man ja auf dem Fort Reliance in Nordamerika eine Temperatur von — 56,7° C. beobachtet habe. Eine so bedeutende Temperaturerniedrigung sei auf der Erdoberfläche nicht möglich, wenn die Temperatur des Weltraumes nicht noch weit geringer wäre.

Uebrigens ist dies noch keineswegs die niedrigste auf der Erde beobachtete Temperatur, sondern in Werchojansk sind sogar — 68° C. am Thermometer abgelesen. Ob aber Arago's Schlussfolgerung, nach welcher die Temperatur des Weltraumes noch niedriger sein müsse, in Wirklichkeit zutreffend ist, dürfte zweifelhaft sein.

Wenn nämlich besonders niedrige Temperaturen in der Nähe der Erdoberfläche beobachtet sind, so hat man häufig beobachtet, dass die Temperatur in grösserer Höhe zunimmt. Es befindet sich dann eine Luftschicht von höherer zwischen zwei Luftschichten von niedrigerer Temperatur, und es kann möglicherweise die der Erdoberfläche am nächsten befindliche Luftschicht durch starke Wärmeausstrahlung der Schneedecke, sowie dadurch, dass sich bei windstillem Wetter die allerdichtesten und kältesten Lufttheile möglichst tief lagern, weiter abgekühlt werden als sehr hoch befindliche Theile der Atmosphäre. Im Allgemeinen hat man weder auf Ballonfahrten, noch auf hohen Bergen, wo ganze Winter hindurch Minimumthermometer aufgestellt waren, sehr tiefe Temperaturen beobachtet, und im Durchschnitt haben alle solche Beobachtungen, wie schon S. 540 erwähnt wurde, ergeben, dass die Temperatur bei steigender Höhe sich einer Grenze nähert, welche vermuthlich nicht sehr weit von — 42° C. entfernt ist.

Pouillet hat die Temperatur des Weltraumes zu — 142° C. bestimmt; da jedoch die Schlüsse, durch welche er zu diesem Resultate gelangte, sehr gewagt sind, indem ihre Grundlage höchst unsicher ist, so mag hier die Anführung dieses Resultats genügen.

In Bengalen, wo die Temperatur der Luft nie auf Null fällt, benutzt man die nächtliche Strahlung, um ziemlich bedeutende Quantitäten von Eis herzustellen. Von einer derartigen Eisfabrik, welche mehr als 300 Personen beschäftigt, giebt Williams folgende Beschreibung:

Ein wohl geebnetes, ungefähr 4 Acres (ungefähr 16 200 qm) haltendes Terrain ist in Quadrate von 1 bis $1^1/_2$ m Seite getheilt, welche durch kleine Erdwälle von ungefähr 1 dcm Höhe eingefasst sind. Diese Abtheilungen nun werden mit Stroh belegt und darauf so viel flache Schüsseln mit Wasser gesetzt, als eben Platz haben. Während des Nachts bildet sich das Eis auf der Oberfläche des Wassers.

Diese Eisbildung ist nur eine Folge der Abkühlung, welche das nach Leslie's Versuchen mit einem starken Ausstrahlungsvermögen begabte Wasser durch die nächtliche Strahlung erleidet, während das

Stroh als schlechter Wärmeleiter die Zuführung der Wärme vom Boden verhindert.

Dass hier die Eisbildung nicht, wie man früher glaubte, von der Verdampfung des Wassers herrührt, geht daraus hervor, dass ein etwas lebhafter Wind, welcher doch die Verdampfung begünstigt, das Gefrieren des Wassers in den Schüsseln verhindert.

Alles, was die freie Strahlung gegen den Himmelsraum hindert, hindert auch die Abkühlung des Bodens und der ihn bedeckenden Gegenstände. Wells spannte ein quadratisches baumwollenes Tuch von 2 Fuss Seitenlänge mittelst vier Holzstäbchen 6 Zoll über dem Rasen in horizontaler Richtung aus. Unter diesem Tuche fand Wells die Temperatur des Rasens oft bis zu 6° C. höher als an benachbarten nicht geschützten Stellen.

Eine ähnliche Rolle, wie hier das Tuch, spielen die Wolken, welche das Himmelsgewölbe überziehen. In einer heiteren Nacht war das Gras einer Wiese bereits 6,7° C. kälter als die Luft geworden, als sich Wolken bildeten; sogleich stieg die Temperatur des Grases wieder und zwar stieg sie um 5,6° C., ohne dass die Lufttemperatur sich geändert hätte.

Wie das Gras verhält sich auch die Oberfläche des Schnees; es ist eine ganz gewöhnliche Erscheinung, dass unmittelbar über dem Schnee die Temperatur um mehrere Grade niedriger ist als in 1 bis 2 m Höhe. In Königsberg wurde im Januar 1892 die Temperatur an der Oberfläche der Schneedecke $10^1/_2$° C. niedriger gefunden, als die der Luft in $1^1/_2$ m Höhe; ähnliche Beobachtungen an andern Orten wurden schon oben (S. 587) erwähnt.

Wenn in heiteren Nächten die Lufttemperatur um 2 bis 4° C. über dem Gefrierpunkte ist, wie dies im April und Mai bei uns öfters vorkommt, so kann durch die nächtliche Strahlung der Erdboden mit Reif bedeckt werden; es können ferner die jungen zarten Blätter und Keime durch die nächtliche Strahlung leicht unter den Gefrierpunkt erkaltet werden, so dass sie, was bei bedecktem Himmel nicht zu fürchten ist, erfrieren, ohne dass das Thermometer auf Null fällt.

Wenn die Lufttemperatur nicht selbst unter den Gefrierpunkt fällt, ist ein Erfrieren der jungen Triebe nur dann zu fürchten, wenn bei heiterem Himmel die Luft vollkommen ruhig ist, oder an Orten, welche vor dem Winde geschützt sind. So kommt es z. B. öfters vor, dass die Reben an vertieften Stellen, etwa in alten Festungsgräben, erfrieren, während sie dicht daneben auf Hügeln unversehrt bleiben. In der Nähe von Freiburg wurde beobachtet, dass neben der sich etwa 1 m über die Umgebung erhebenden Chaussee die aus dem Boden kommenden, also unter dem Niveau der Chaussee befindlichen Wurzeltriebe junger Nussbäume total erfroren waren, während das Laub der Kronen dieser Bäumchen nicht im mindesten vom Frost gelitten hatte.

Solche Nachtfröste können in Deutschland und Frankreich noch bis zur Mitte Mai (Pancratius und Servatius, 12. und 13. Mai) gefährlich werden, und deshalb fürchtet der Gärtner den Stierneu, d. h. die Zeit,

in welcher der Neumond nahezu mit dem Eintritt des Mondes in das Zeichen des Stiers zusammenfällt. Von diesen Kälterückfällen im Mai wird später noch die Rede sein.

199 **Temperatur des Bodens.** Wir haben bisher nur die Temperatur der Luft, aber nicht die Temperatur der oberen Bodenschichten besprochen, welche je nach der Natur der Bodenfläche oft bedeutend von der Lufttemperatur verschieden sein kann; ein nackter, des Pflanzenwuchses beraubter, steiniger oder sandiger Boden wird durch die Absorption der Sonnenstrahlen weit heisser, ein mit Pflanzen bedeckter Boden, z. B. ein Wiesengrund, wird durch die nächtliche Strahlung weit kälter als die Luft, deren Temperatur schon durch die fortwährenden Luftströmungen mehr ausgeglichen wird. In den afrikanischen Wüsten steigt die Hitze des Sandes oft auf 50 bis 60° C. Ein mit Pflanzen bedeckter Boden bleibt kühler, weil die Sonnenstrahlen ihn nicht direct treffen können, die Pflanzen selbst binden gewissermaassen eine grosse Wärmemenge, indem durch die Vegetation eine Menge Wasser verdunstet; sie erkalten aber, wie wir gesehen haben, bei ihrem grossen Emissionsvermögen durch Ausstrahlung der Wärme so stark, dass die Temperatur des Grases oft 7 bis 8° unter die der Luft sinkt. Im Inneren der Wälder ist die Luft beständig kühl, weil die dichte Laubdecke auf dieselbe Weise abkühlend wirkt wie eine Grasdecke, und weil die an den Gipfeln der Bäume abgekühlte Luft sich niedersenkt. Ueberdies ist aber auch die Wärmemenge, welche dem Erdboden zufliesst, von dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft abhängig. Die atmosphärische Luft ist, wenn sie gar keine Wasserdämpfe enthält, für die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen beinahe ebenso durchdringbar wie ein leerer Raum, während eine mit Feuchtigkeit erfüllte Luft die Wärmestrahlen theilweise absorbirt. Dadurch wird bewirkt, dass bei feuchter Luft ein Theil der Sonnenwärme den Erdboden gar nicht erreicht, sondern dazu verwandt wird, die Luft selbst zu erwärmen, während andererseits die feuchte Luft dazu dient, die den Erdboden erreichende Wärme dort festzuhalten. Auf hohen Bergen ist die Luft sehr trocken, in Folge dessen zeigt dort ein Thermometer im Schatten eine niedrige Temperatur, während Gegenstände, welche von den Sonnenstrahlen getroffen werden, sich zum Theil stark erwärmen. Der Grad der Erwärmung hängt aber von der Beschaffenheit des Gegenstandes ab. Auf schneebedeckten Flächen kann in grossen Höhen die Sonnenhitze für den Menschen unerträglich werden, während sie nicht im Stande ist, die Oberfläche des Schnees zu schmelzen, sondern von dieser fast vollständig wieder in den Weltraum ausgestrahlt wird. Ueberall aber, wo die Luft feucht ist, bildet sie eine schützende Decke für den Erdboden, und hindert die Ausstrahlung der Wärme in ähnlicher Weise, wie die Fenster eines Gewächshauses, welche die Sonnenstrahlen zwar grösstentheils durchlassen, aber verhindern, dass die Wärme des Raumes sich nach aussen hin wieder verbreitet.

Wegen des unvollkommenen Wärmeleitungsvermögens kann die Wärme der obersten Bodenschichten nur nach und nach in das Innere eindringen; wenn die Oberfläche aber erkaltet, so verlieren die tieferen Bodenschichten weniger schnell ihre Wärme; in einer geringen Tiefe werden deshalb die Temperaturschwankungen weit geringer sein als an der Oberfläche selbst. In Deutschland verschwinden schon bei einer Tiefe von 0,7 m die täglichen Temperaturschwankungen, und in einer noch grösseren Tiefe verschwinden sogar die jährlichen Variationen, so dass hier stets dieselbe Temperatur herrscht, welche aber keineswegs überall mit der mittleren Temperatur des Ortes genau übereinstimmt.

Seit 1671 hatte Giov. Cassini bemerkt, dass die Temperatur der Keller des Observatoriums zu Paris während des ganzen Jahres sich nicht ändert. Im Jahre 1730 machte Lahire dieselbe Beobachtung. Der Graf Jean Cassini, Urenkel des Obigen, erkannte zuerst die grosse Wichtigkeit dieser Erscheinung; im Jahre 1771 fing er an, sie durch eine Reihe von Versuchen näher zu untersuchen und im Jahre 1783 stellte er gemeinschaftlich mit Lavoisier in den Kellern des Observatoriums einen sehr empfindlichen Apparat auf, welcher entscheidende Resultate liefern musste. Dieser Apparat, welcher noch jetzt daselbst aufgestellt ist, hat folgende Einrichtung.

Auf dem Boden des Kellers, in einer Tiefe von 27,6 m, erhebt sich ein massiver Steinblock von 1,3 m Höhe, auf welchem ein mit feinem Sande gefülltes Glasgefäss steht; in diesem Sande steckt die Kugel eines Thermometers, dessen Theilung auf Glas geätzt ist. Das Thermometer ist von Lavoisier selbst construirt und mit wohl gereinigtem Quecksilber gefüllt; seine Kugel hat 7 cm im Durchmesser, und die Röhre ist so fein, dass ein Grad eine Länge von ungefähr 95 mm einnimmt, dass also $^1/_{100}$ Grad noch fast eine Länge von 1 mm hat; man kann demnach noch die Hälfte von $^1/_{100}$ Grad ablesen. Das Thermometer geht nur bis auf 16° C., es hat aber oben einen kleinen Behälter, in welchen das Quecksilber hineinsteigen kann, wenn etwa die Temperatur über 16° C. steigen sollte.

Dieses Thermometer zeigt nun eine constante Temperatur von 11,82° C., und diese Temperatur hat sich seit einem halben Jahrhundert nicht geändert.

Die Tiefe, in welcher die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, ist nicht in allen Gegenden dieselbe; sie hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens, vorzüglich aber auch von der Grösse des Temperaturunterschiedes der heissesten und kältesten Jahreszeit ab. In der heissen Zone Amerikas fand Boussignault schon in einer Tiefe von 5 bis 6 dcm eine constante Temperatur, weil hier die Wärme ziemlich gleichförmig über die verschiedenen Zeiten des Jahres verbreitet ist.

Wie mit zunehmender Tiefe die jährlichen Veränderungen der Temperatur abnehmen, ersieht man aus folgenden Resultaten, welche die zu Brüssel in dieser Beziehung von 1834 bis 1837 angestellten Versuche geliefert haben.

Tiefe	Schwankungen der Temperatur im Laufe eines Jahres
0,19 m	13,28° C.
0,45	12,44
0,75	11,35
1,00	10,58
1,95	7,59
3,90	4,49
7,80	1,13

Vergleicht man die Beobachtungen von Paris, Strassburg, Zürich und Brüssel, so ergiebt sich, dass die jährlichen Schwankungen ungefähr in einer Tiefe von 24 m verschwinden.

Da die Wärme nur allmählich von der Oberfläche in die Tiefe eindringt, so ist klar, dass in der Tiefe das Maximum der Temperatur später erreicht wird als in der Atmosphäre, wie dies auch folgende von Forbes in Edinburg in verschiedenen Bodenarten angestellte Versuche bestätigen.

Bodenart	Jährl. Temperaturschwankung in einer Tiefe von				Zeitpunkt des Temperaturmaximums in einer Tiefe von			
	1 m	1,9 m	3,9 m	7,8 m	1 m	1,9 m	3,9 m	7,8 m
Trapp . .	10,53° C.	6,61°	3,5°	0,80°	6. Aug.	2. Sept.	17. Oct.	8. Jan.
Sand . . .	11,23	8,30	4,19	1,16	31. Juli	24. Aug.	7. Oct.	30. Dec.
Sandstein .	9,58	7,72	5,22	2,28	5. Aug.	19. Aug.	11. Sept.	11. Nov.

Aus diesen Versuchen ergiebt sich nun auch, wie ungleich die Leitungsfähigkeit verschiedener Fels- und Bodenarten für die Wärme ist. Trapp (Dolerit) besitzt unter den drei genannten das geringste, Sandstein das beste Leitungsvermögen. In gleicher Tiefe sind im Sandstein die Schwankungen der Temperatur nicht allein grösser, sondern das Maximum der Temperatur stellt sich auch früher ein als im Sande und Dolerit.

Beobachtungen über die Erdtemperatur in verschiedenen Tiefen sind bisher namentlich angestellt in Brüssel, Edinburg, Greenwich, Paris, Madrid, München, Breslau, Eberswalde, Potsdam, Königsberg, Bonn, Dresden, Budapest, Petersburg (Pawlowsk), Jakutsk, Sidney, Cambridge (Nordamerika) und in Indien.

In Königsberg wurde zuerst eine Erdthermometerstation im botanischen Garten durch Franz Neumann im Jahre 1836 eingerichtet, und vier Jahre hindurch daran beobachtet. In vollkommenerer Weise wurde an derselben Stelle im Jahre 1872 eine Station eingerichtet, an welcher bis zum Jahre 1892 Beobachtungen angestellt sind.

Es wurden sieben Thermometer von resp. 1,26, 1,57, 1,88, 2,51, 3,77, 6,28 und 8,78 m Länge hergestellt, und so weit durch Bohrlöcher in die Erde eingelassen, dass die Mittelpunkte ihrer Quecksilbergefässe resp. 0,03, 0,31, 0,63, 1,26, 2,52, 5,02 und 7,53 m, oder nach altem rheinischen Maasse resp. 1 Zoll, 1, 2, 4, 8, 16 und 24 Fuss unter der Oberfläche der Erde waren. Das Gefäss des kürzesten Thermometers war ein kurzer dicker Cylinder von 2,6 cm Höhe und Durchmesser; die Gefässe der übrigen Thermometer waren Cylinder von etwa 14 cm Höhe, die ungefähr $^1/_4$ kg Quecksilber enthielten. Die Glasröhren wurden aus mehreren möglichst gleichmässigen engen Capillarröhren zusammengeschmolzen, und nur für den Theil vor der Scala (circa 40 cm) wurden Röhren von etwas weiterem Caliber verwandt, um der Scala nicht eine übermässige Länge geben zu müssen. Das ganze Rohr bis zum Beginne der Scala wurde in eine Kupferröhre eingelassen, welche 2,6 cm im Lichten und 1,5 mm Wanddicke hatte und am unteren Ende zur Aufnahme des Cylinders ein etwas erweitertes Ansatzstück trug, das mit Löchern versehen war (s. Fig. 314). Der Cylinder stand auf einem im Boden des Ansatzstückes befindlichen Korke; und die Thermometerröhre wurde vor einer Beschädigung durch übermässige Biegung oder Anschlagen an das Kupferrohr durch mehrere in verschiedener Höhe angebrachte und festgeleimte Korkstückchen geschützt. Das obere Ende der Röhre war in einen Haken ausgezogen, der durch ein Loch der Scala ging, so dass diese unverrückbar an der Röhre befestigt war. Die Scala hatte eine willkürliche Eintheilung und trug ungefähr 440 Theilstriche auf 40 cm; die Reduction der Ablesungen auf Grade nach Celsius wurde vor Einsenkung der Thermometer auf das Sorgfältigste bestimmt.

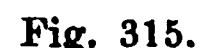
Fig. 314.

Am oberen Ende der Kupferröhre befand sich eine kleine Oeffnung, durch welche das Rohr, nachdem es in die Erde eingelassen war, gänzlich mit trockenem, feinstem Flugsande angefüllt wurde. Die Stellen, bis zu welchen die Thermometer in die Erde kommen sollten, waren vor der Einsenkung durch genaue Messungen bestimmt und durch Marken auf den Röhren bezeichnet. Die sämmtlichen Marken wurden mit Hülfe einer Wasserwaage vor dem Zuschütten der Löcher genau in eine Horizontale gebracht.

An einem Pfahle wurden ferner drei Normalthermometer angebracht. Das eine von ihnen, welches bestimmt war, die Temperatur der Luftschicht zu ermitteln, mit welcher der Erdboden in unmittelbarer Berührung stand, befand sich möglichst dicht über demselben und konnte zum Ablesen vermittelst einer Schnur ohne Ende emporgezogen werden. Damit während dessen das Thermometer nicht sofort die Temperatur der höheren Luftschichten annahm, wurde der

Zwischenraum zwischen dem Cylinder und dem ihn umgebenden Korbe mit Watte ausgefüllt und der ganze Korb mit Kautschukstoff überzogen, um zu verhindern, dass bei einer Durchnässung der Watte ein Fehler in Folge der Verdunstungskälte entstand.

Das zweite der Thermometer wurde in ein mit Sand gefülltes Kupferrohr von derselben Beschaffenheit eingeschlossen, wie die Röhren der Erdthermometer, und befand sich mit seinem Cylinder in der halben Höhe der herausragenden Kupferröhren, deren Temperatur durch dasselbe eben gemessen werden sollte. Das dritte Thermometer war in gleicher Höhe mit der Mitte der Scalen befestigt und in eine Glasglocke eingeschlossen, ähnlich denen, welche die Scalen der Erdthermometer bedeckten. Dieses Thermometer war dazu bestimmt, die Temperatur der Scalen zu erhalten.


Fig. 315.



Die Thermometer wurden zum Schutze gegen Beschädigungen mit einem Kasten von Drahtgeflecht überdeckt, welcher in der Höhe der Scalen zwei Thüren trug, die zum Ablesen jedesmal geöffnet wurden. Alles Metall und Holz wurde mit weisser Oelfarbe gestrichen, um die Erwärmung durch die Sonnenstrahlen möglichst abzuschwächen.

Bei der Reduction der an diesen Thermometern gemachten Ablesungen musste nothwendig darauf Rücksicht genommen werden, dass die Höhe des Quecksilberfadens nicht allein von der Temperatur des Quecksilbers im unteren Cylinder, sondern auch von derjenigen der Röhre abhängig sei. Unter der gewiss sehr nahe zutreffenden Voraussetzung, dass die Flächen gleicher Temperaturen in dem Erdboden horizontal lägen, wurden nun die Ablesungen der kürzeren Thermometer benutzt, um die Temperatur der Röhre der längeren Thermometer zu bestimmen, und so die nöthigen Daten erhalten, um die Temperatur des Erdreiches bei dem Cylinder zu ermitteln. Die Untersuchung der Thermometer, welche ihrer Einsenkung vorher ging, war eine sehr weitläufige; es würde hier zu weit führen, auf sie näher einzugehen, und muss auf den Bericht über dieselbe von Dorn in den Schriften der Physikal.-Oekonomischen Gesellsch. in Königsberg, Jahrg. XIII, 1872, verwiesen werden.

Gegen die beschriebenen Thermometer ist der Einwand erhoben worden, dass durch die Kupferröhren die Temperatur der Luft und der oberen Erdschichten nach dem Quecksilbergefässe geleitet und dessen Temperatur beeinflusst werden kann. Von diesem Nachtheile ist die

Vorrichtung frei, welche Lamont in Bogenhausen bei München zur Untersuchung der Erdtemperatur hergestellt hat (s. Fig. 315).

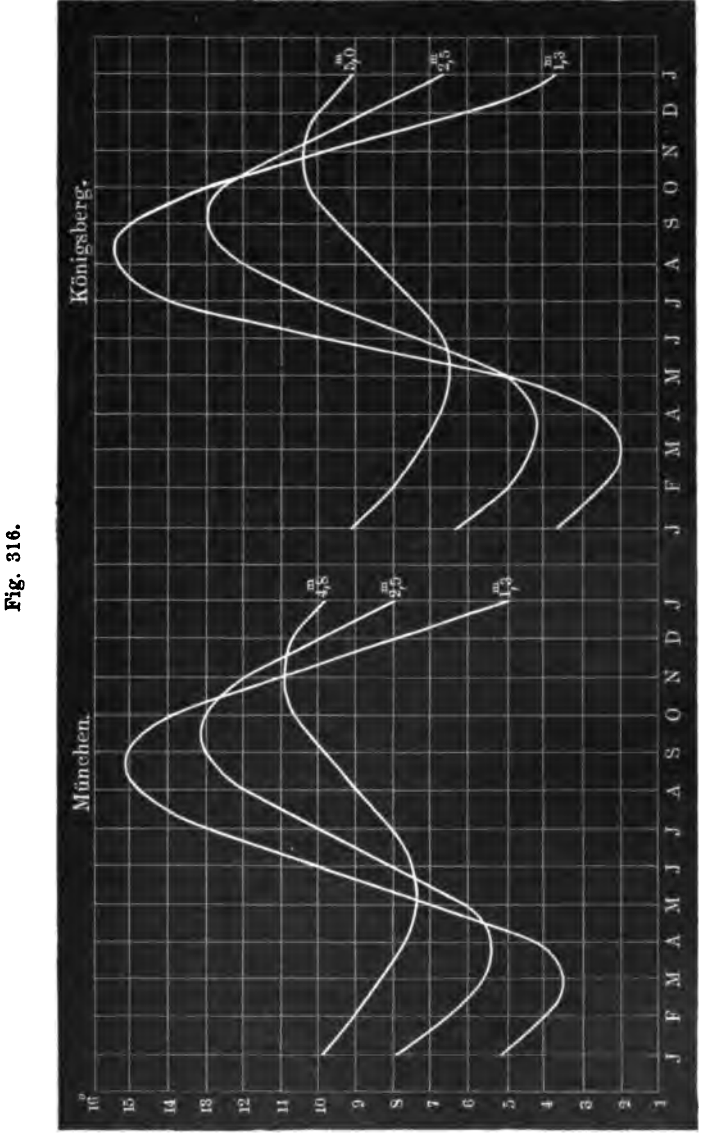


Fig. 316.

In den Erdboden ist ein 6 m langes hölzernes Rohr von fast quadratischem Querschnitt (6,8 cm im Lichten) eingegraben, welches unten durch eine Kupferplatte geschlossen ist. In die Höhlung dieser Holzröhre passen fünf Holzstäbe, *A*, *B*, *C*, *D* und *E*. *E* ist 0,89 m, *A* ist

1,48 m, jeder der drei übrigen ist 1,18 m lang. Jeder dieser fast quadratischen Stäbe ist oben mit einem eisernen Bügel versehen, welcher in eine Höhlung des auf ihm aufsitzenden Stabes hineinragt. An der einen Seite ist in jedem dieser Stäbe eine Rinne angebracht (*a*, *b*, *c*, *d* und *e*), in welcher ein in Zehntel Grade getheiltes Thermometer mit grossem Gefässe befestigt ist. Der Thermometerkugel gegenüber ist, um die freie Mittheilung der Wärme zu vermitteln, die Wand des Holzrohres durchbohrt und die Oeffnung aussen mit einer Kupferplatte geschlossen.

Das Thermometer *a* ist 1,3, *b* ist 2,5, *c* ist 3,6, *d* ist 4,8 und *e* ist 6,0 m tief unter der Oberfläche des Bodens. Um eine Beobachtung zu machen, wird zuerst *A* hervorgezogen und das Thermometer bei *a* rasch abgelesen, ehe sich noch sein Stand ändern kann. Dann wird *B* mittelst eines an einer Schnur befestigten Hakens hervorgezogen, welcher in den am oberen Ende von *B* angebrachten Bügel eingreift, und dann rasch die Ablesung des Thermometers *b* vorgenommen u. s. w.

Zu Bogenhausen sind zwei solche Röhren dicht neben einander nordwestlich, zwei andere aber südöstlich von der Sternwarte angebracht. Die Ablesung wird daselbst einmal wöchentlich und zwar am Mittwoch vorgenommen.

Aehnliche Vorrichtungen hat Lamont construirt, um die Bodentemperatur bis zu 1,3 m Tiefe zu ermitteln. Fig. 316 (a. v. S.) stellt die Resultate der Beobachtungen in München 1861 bis 1889 und in Königsberg 1873 bis 1886 für die in 1,3 m, 2,5 m und 4,8 m resp. 5,0 m befindlichen Thermometer dar. Der Verlauf der Temperaturcurven ist in beiden Fällen ein überraschend ähnlicher, nur sind in Königsberg die Unterschiede zwischen den Extremen der Temperatur etwas grösser. Die Bodenbeschaffenheit ist an beiden Orten nahezu die gleiche (Lehmboden).

In nachfolgender Tafel sind zur Vergleichung die mittleren monatlichen Lufttemperaturen und die Höhe über dem Meeresspiegel für beide Stationen gegeben:

	München	Königsberg
Januar	— 3,01°	— 3,41°
Februar	— 1,08	— 2,59
März	+ 2,30	— 0,26
April	+ 7,45	+ 5,46
Mai	+ 11,99	+ 10,81
Juni	+ 15,60	+ 15,40
Juli	+ 17,22	+ 17,22
August	+ 16,47	+ 16,53
September	+ 12,94	+ 13,05
October	+ 7,99	+ 7,67
November	+ 2,06	+ 1,86
December	— 1,55	— 1,83
Jahr:	+ 7,36°	+ 6,68°
Meereshöhe: . . .	529 m	15,7 m

Betrachten wir jetzt die Resultate der Königsberger und Münchener Beobachtungen genauer. Die Beobachtungen wurden in Königsberg täglich dreimal, um 7 Uhr Morgens, 2 Uhr Nachmittags und 8 Uhr Abends angestellt, und zwar zeigt es sich, dass schon bei dem in 1,26 m Tiefe angebrachten Thermometer die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur nicht mehr hervortreten. Als Mittel aus allen 14 Beobachtungsjahren ergiebt sich nämlich für die vier höchsten Thermometer:

	0,03 m	0,31 m	0,63 m	1,26 m
7 Uhr Morgens . . .	6,50°	7,95°	8,22°	8,24°
2 „ Nachmittags .	10,14	8,20	8,19	8,24
8 „ Abends . . .	7,90	8,42	8,24	8,24

Als Gesammtmittel für die sämmtlichen Beobachtungen ergab sich:

Tiefe des Thermometers	Mittlere Temperatur	Tiefe des Thermometers	Mittlere Temperatur
0,03 m	8,11°	2,52 m	8,36°
0,31	8,19	5,02	8,43
0,63	8,23	7,53	8,39
1,26	8,24		

Es ist übrigens zu bemerken, dass die letzte Zahl weniger Gewicht hat als die übrigen, da das in 7,53 m Tiefe angebrachte Thermometer im Februar 1879 zerbrach, und die Beobachtungen sich daher über einen kleinen Zeitraum erstrecken. Für München hat sich ergeben:

Tiefe des Thermometers	Mittlere Temperatur
1,29 m	9,18°
2,46	9,16
3,63	9,12
4,80	9,12
5,97	9,06

Während also in Königsberg eine deutliche Zunahme der Temperatur mit der Tiefe im Betrage von etwa 0,06° C. für 1 m stattfindet, zeigt sich in München eine Abnahme, und zwar von durchschnittlich 0,03° C. für 1 m. An beiden Orten ist aber die mittlere Bodentemperatur in allen Schichten merklich höher als die mittlere Lufttemperatur. Es ist übrigens zu bemerken, dass das für München gefundene Resultat ein ziemlich vereinzeltes ist; auf den meisten Beobachtungsstationen hat sich eine Zunahme der Temperatur mit der Tiefe ergeben.

Aus Fig. 316 (S. 595) ergiebt sich, wie aus den schon erwähnten Beobachtungen in Edinburg, dass die Maxima und Minima der Temperaturen in der Erde um so später stattfinden, je tiefer die betreffende Erdschicht ist. Während in Königsberg im Mittel das Maximum der Lufttempe-

ratur auf die zweite Hälfte des Juli und das Minimum auf die Mitte des Januar fällt, fand sich bei dem in 7,53 m tiefen Thermometer das Maximum der Temperatur etwa für den 11. December und das Minimum für den 21. Juni, also den Extremen der Lufttemperatur beinahe entgegengesetzt. In München fand bei dem 5,97 m tiefen Thermometer das Maximum etwa am 17. November und das Minimum am 21. Mai statt.

Ob die in Königsberg etwas weiter aus einander liegenden Temperaturextreme im Vergleiche zu München der grösseren Leitungsfähigkeit der Kupferröhren zuzuschreiben sind, muss eine weitere Untersuchung lehren, welche voraussichtlich demnächst in Königsberg ausgeführt werden wird. Gegen die Lamont'sche Einrichtung der Erdthermometer lässt sich Folgendes einwenden. Der innere Holzstock *ABCDE* (Fig. 315) darf in das äussere Holzrohr nicht zu genau hineinpassen, weil sonst Klemmungen entstehen, die das rasche Ablesen der Thermometer, welches bei dieser Einrichtung ein Haupterforderniss ist, stören können. Wenn aber zwischen dem Rohre und dem Holzstocke Luft vorhanden ist, so ist es denkbar, dass ihre kältesten Theile sich möglichst tief lagern und die Angaben der Thermometer beeinflussen. Uebrigens zeigen die Bearbeitungen sowohl der Königsberger als auch der Münchener Beobachtungsreihen, dass erhebliche Fehlerquellen bei beiden nicht wirksam gewesen sind. In Pawlowsk hat man bei wesentlich der Lamont'schen Einrichtung zum Theil Röhren von Glas und Thon angewandt.

In solchen Gegenden, deren mittlere Jahrestemperatur unter dem Gefrierpunkte ist, muss in einer bestimmten Tiefe der Boden stets gefroren sein. So ist z. B. zu Jakutzk, dessen mittlere Jahrestemperatur — 11,1° C. ist, wie schon oben erwähnt wurde, trotz der bedeutenden Sommerwärme in einiger Tiefe der Boden beständig gefroren. In der Hoffnung, Wasser zu finden, legte Erman hier einen Brunnen an, fand aber in einer Tiefe von 15,2 m noch eine Temperatur von — 7,5° C.; dieser Brunnen wurde später durch Schergin bis auf 116,5 m vertieft. Folgendes sind die Temperaturen des Bodens in verschiedenen Tiefen:

6,1 m	— 10,2° C.
15,2	— 8,3
91,4	— 3,9
116,4	— 3,0

Wenn man von der Bodentemperatur eines Ortes spricht, so versteht man darunter die Temperatur des Bodens in einer Tiefe, in welcher eben die jährlichen Variationen verschwinden. Solche Curven, welche die Orte gleicher Bodenwärme mit einander verbinden, hat man Isogeothermen genannt. Sie lassen sich bei dem äusserst lückenhaften Material nur mit sehr geringer Genauigkeit herstellen, und um ihren Lauf zu bestimmen, musste Kämtz wegen Mangel an unmittel-

baren Beobachtungen der Bodentemperatur zu Quellentemperaturen seine Zuflucht nehmen.

Nach den Beobachtungen von Schlagintweit befindet sich die Isogeotherme von 0° in der Tauernkette (höchster Gipfel des Gross Glockner, etwas weniger als 4000 m) in einer Höhe von 3380 m, wo das Jahresmittel der Lufttemperatur ungefähr — 7,0° C. beträgt.

Innere Erdwärme. Wenn man in der Erdoberfläche über den Punkt hinab vordringt, in welchem die jährlichen Temperaturschwankungen verschwinden, so findet man eine, mit wachsender Tiefe stets zunehmende Temperatur. In Bergwerken war diese Erscheinung schon lange bemerkt worden, ehe man noch regelmässige Beobachtungen darüber anstellte; die Bergleute wussten, dass in der Tiefe nicht allein die Temperaturveränderungen nicht mehr fühlbar sind, sondern dass es daselbst auch ausserordentlich warm ist. 200

Saussure fand zu Bex im Canton Waadt in einem Schachte, welcher seit drei Monaten von Niemandem befahren worden war, eine Temperatur von

14,4° C.	in	einer	Tiefe	von	100 m
15,6	„	„	„	„	180
17,4	„	„	„	„	214

Später wurden ähnliche Messungen in den Bergwerken der verschiedensten Gegenden angestellt, und alle führten zu dem gleichen Resultate, wenn sich auch nicht an allen Orten das gleiche Gesetz der Wärmezunahme herausstellte. Die in dieser Beziehung gefundenen Ungleichheiten sind aber sehr erklärlich, wenn man bedenkt, dass die verschiedenen Felsmassen, in welchen die Schachte angelegt sind, nicht gleich gute Wärmeleiter sind, dass es nicht gleichgültig sein kann, ob man von der Höhe eines Berges, von der Sohle eines Thales oder von der Ebene aus niedergeht, dass die Tagwasser, welche in den Boden einsinken, mehr oder weniger störend auf die Regelmässigkeit der Wärmezunahme einwirken müssen.

In dem Albertischachte in Pribram, in welchem man im Jahre 1874 die Tiefe von 1000 m erreichte, fanden sich folgende Gesteinstemperaturen:

Tiefe	Temperatur	Tiefe	Temperatur
74,5 m	9,4°	505,6 m	16,5°
145,0	11,5	581,5	17,8
190,7	12,0	661,8	19,2
286,3	13,8	737,3	20,4
359,8	14,2	832,2	21,1
432,7	15,1	889,3	21,8

Im Durchschnitt findet sich aus diesen Messungen, dass die Temperatur für 65 m Tiefenzunahme um 1° C. steigt. Aber die einzelnen

Beobachtungen dieser Reihe ergeben schon bedeutende Differenzen, und ebenso liefern Bohrungen an verschiedenen Stellen der Erdoberfläche sehr verschiedene Resultate. Die Tiefenzunahme, welche einer Zunahme der Temperatur um 1° C. entspricht, nennt man die geothermische Tiefenstufe; dieselbe beträgt also für Pribram 65 m, während sie in einem Bohrloche in Neuffen in Württemberg nur zu 11 m gefunden wurde.

Das tiefste Bohrloch der Welt befindet sich in Sperenberg in der Nähe von Berlin; dasselbe geht 88 m durch Gyps und dann durch Steinsalz, und erreicht im Ganzen eine Tiefe von 1272 m. Es haben sich dort durch sorgfältige Messungen folgende Temperaturen gefunden:

Tiefe	Temperatur	Tiefe	Temperatur
26,7 m	9°	477,8 m	30,9°
223,0	21,6	605,2	33,1
286,7	23,5	669,0	35,9
350,4	26,4	1080,0	46,5
414,1	26,9	1268,6	48,1

Geothermische Tiefenstufe = 31,8 m.

In dem Bohrloche des artesischen Brunnens zu Grenelle bei Paris fand man in einer Tiefe von 547 m die Temperatur von 27,7° C., und in dem zu Neusalzwerk in Westphalen in einer Tiefe von 696 m die Temperatur von 32,8° C.

Im Durchschnitt beträgt die geothermische Tiefenstufe etwa 33 m; doch kommen, wie schon erwähnt, bedeutende locale Verschiedenheiten vor. Namentlich nimmt in Kohlenbergwerken die Temperatur verhältnissmässig sehr rasch mit der Tiefe zu.

Sehr interessante Resultate über die Temperatur des Erdinnern hat man bei Gelegenheit des Baues des St. Gotthard-Tunnels erhalten. Die geothermische Tiefenstufe betrug im Durchschnitt etwa 50 m, und zwar war die höchste erreichte Temperatur = 30,8° C. Im Allgemeinen war die Temperatur dort, wo die höchsten Gesteinsmassen über dem Tunnel lagen, am grössten, doch entsprachen die Temperaturen nicht genau den Höhen der überlagernden Bergmassen, sondern unter grösseren Bergspitzen nahm die Temperatur verhältnissmässig wenig zu und unter tieferen Thälern weniger ab. Für die geothermische Tiefenstufe fand sich:

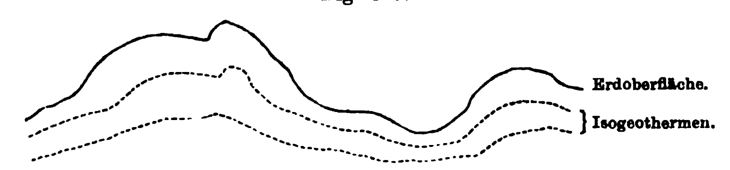
Tiefe	geothermische Tiefenstufe
301 m	24,0 m
558	42,3
1026	51,8
1165	52,5

Die Flächen gleicher Temperaturen haben demnach einen ähnlichen Verlauf wie die der Erdoberfläche, doch sind sie, wo die Erdoberfläche

gegen die Horizontale geneigt ist, weniger geneigt als diese, etwa wie Fig. 317 zeigt.

Wollten wir annehmen, dass die Temperatur des Erdinnern bis in grosse Tiefen in gleichem Verhältnisse, also um etwa 1° C. auf 33 m zunähme, so würden wir zu dem Resultate kommen, dass bei 60 km Tiefe schon eine Temperatur von über 1800° C. herrschte. Bei dieser Temperatur schmelzen aber schon fast alle uns bekannten Mineralien, und man hat daraus geschlossen, dass die Erde ihrer hauptsächlichen Masse nach ein glühendflüssiger Körper, und nur bedeckt von einer wenige geographische Meilen dicken festen Kruste sei. Indessen lassen sich gegen diese Annahme sehr gewichtige Bedenken erheben. Denn einestheils hat man gewöhnlich dort, wo weder Kohlenbergwerke noch irgend welche in chemischer Veränderung befindliche Gesteine vorhanden sind, wo demnach die Temperaturzunahme eine grosse Regelmässigkeit zeigt, bemerkt, dass mit grösserer Tiefe die geothermische Tiefenstufe

Fig. 317.



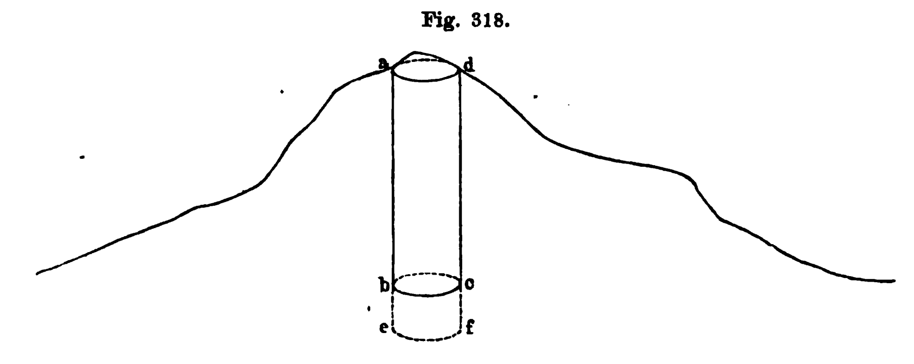
fortwährend grösser wird, und man könnte daraus sogar den Schluss ziehen, wie C. Vogt es gethan hat, dass in ziemlich geringen Tiefen die Temperaturzunahme überhaupt aufhört. Wenn man aber andererseits diesen Schluss nicht ziehen will, so ist doch zu bedenken, dass bei grösserem Drucke die Schmelztemperatur der Gesteine wächst, und dass im Innern der Erde, wo theilweise der Druck der oberen Erdschichten ein sehr beträchtlicher sein muss, schon dadurch der feste Zustand der unteren Schichten erhalten wird. Wie gross übrigens der Druck der oberen Schichten an einzelnen Stellen der Erde ist, davon kann man sich auch nicht annähernd ein Bild machen. Setzen wir z. B. den Fall, aus einem Berge sei (Fig. 318, a. f. S.) ein cylinderförmiges Stück *abcd* so ausgeschnitten, dass es sich ohne Reibung an den Seitenwänden auf- und niederbewegen könnte. Wir könnten dann, wenn wir das specifische Gewicht der Bergmasse und die Dimensionen des Stückes *abcd* kennten, genau den Druck berechnen, welchen es auf ein darunter befindliches, ebenfalls cylindrisches Stück *bcfe* des Berges ausübt.

Ganz anders liegt aber die Sache, wenn der Cylinder *abcd* fest mit dem Berge verbunden ist; er kann dann unter Umständen von den seitlich befindlichen Theilen des Berges so weit gestützt und in die Höhe gehalten werden, dass gar kein Druck auf *bcfe* stattfindet, wie z. B. eine steinerne Brücke, deren einen Bogen man durch eine Wand verschliesst, keinen Druck auf diese Wand ausübt. Man könnte sich sogar einen Grad der Consistenz der Erdkruste denken, bei welchem

sie sich wie eine dünnwandige metallene Hohlkugel, allein durch den Seitendruck ihrer einzelnen Theile im Gleichgewicht befindet, ohne auf die in ihrem Innern befindlichen Theile zu drücken. So liegen allerdings die Verhältnisse keineswegs, und es ist klar, dass z. B. die Oceane einen sehr bedeutenden Druck auf ihren Untergrund ausüben müssen.

Die Aufgabe, für jeden einzelnen Punkt der festen Erdoberfläche den Druck zu ermitteln, welchen sie in einer bestimmten Tiefe ausübt, ist demnach im Allgemeinen eine völlig unbestimmte und unlösbare, weil dieser Druck von der Beschaffenheit des Erdinnern abhängt, die wir nur unvollkommen, und von dem Seitendruck, den wir in der Regel gar nicht kennen; und wir können nur sagen, dass an manchen Stellen der

Fig. 318.



Erde der Druck ein sehr bedeutender und an anderen ein verschwindend kleiner ist.

Die schon erwähnte, früher aufgestellte Hypothese, dass die Erde im Grossen und Ganzen ein gluthflüssiger Körper und nur von einer wenige Meilen dicken Schicht überdeckt sei, ist jetzt wohl von fast allen Geologen verlassen worden. Es sprechen auch namentlich astronomische Gründe gegen die Annahme. Denn wie schon früher erwähnt wurde, wird die Präcession und Nutation der Erdachse durch die Anziehung der Sonne und des Mondes hervorgerufen, und muss in anderer Weise stattfinden, wenn die Erde ein flüssiger, als wenn sie ein starrer Körper ist, und anders, wenn sie, — im ersteren Falle, — mit einer sehr dünnen, als wenn sie mit einer dicken Kruste bedeckt ist. Untersuchungen, welche Hopkins über die Präcession und Nutation ausgeführt hat, zeigten ihm, dass die Erde entweder völlig starr, oder von einer Kruste bedeckt sei, welche eine Dicke von etwa $^1/_4$ bis $^1/_5$ des Erdradius habe. Es wäre nun noch möglich, dass die Erde im Wesentlichen aus einer viscosen Masse bestände, keinesfalls aber kann sie bis auf wenige Meilen unter ihrer Oberfläche in flüssigem Zustande sein. Dagegen ist wohl nicht zu bezweifeln, dass sie im Innern von sehr hoher Temperatur und im Zustande einer, wenngleich äusserst langsamen Abkühlung begriffen

ist. Hierauf deuten die sicher constatirten allmählichen Hebungen und Senkungen einiger Theile der Erdoberfläche, die sich nur durch eine Zusammenziehung des Innern der Erde und dadurch bewirkte Faltenbildung in den bereits abgekühlten äusseren Schichten erklären lassen.

Vulkane. In verschiedenen Gegenden der Erde findet man Berge 201
von mehr oder weniger kegelförmiger Gestalt, auf deren Gipfel sich eine trichterförmige Vertiefung, der Krater, befindet. Dieser Krater hat meist eine kreisrunde Gestalt und der Kegel, welcher ihn trägt, besteht grösstentheils aus aufgeschütteten Materialien, weshalb er als Aschenkegel bezeichnet wird. Als besonders charakteristische Beispiele solcher Krater-

Fig. 319.



berge, welche man als Vulkane bezeichnet, mag der Cotopaxi in Südamerika, Fig. 319, und der Vulkan der Insel Barren im Golf von Bengalen, Fig. 320 (a. f. S.), dienen.

Eine Erscheinung, welche derartigen Bergen ein besonderes Interesse verleiht, sind die vulkanischen Ausbrüche oder Eruptionen, welche nach mehr oder minder langen Perioden der Ruhe stattfinden und deren normaler Verlauf im Wesentlichen folgender ist: Nach vorausgegangenem unterirdischem Getöse, welches von einer Erschütterung des Bodens begleitet ist, entsteigen dem Krater ungeheure Massen von Wasserdampf, während zugleich ein Auswurf von erdigen, steinigen, zermalmten und zerriebenen Massen, sogenannter vulkanischer Asche, stattfindet. Häufig sind diese Erscheinungen noch von dem Hervorbrechen geschmol-

zener Gesteinsmassen, der **Lava**, begleitet, welche, meist aus seitlichen Spalten hervorquellend, an dem Abhange des Berges herabfliessen.

In solchen Fällen, wo man, wie z. B. auf Stromboli, selbst während der Eruption, in den Krater hineinsehen kann, erblickt man denselben zum Theil mit geschmolzener rothglühender Lava erfüllt. Mächtige Dampf- und Gasblasen steigen durch die zähflüssige Masse in die Höhe, platzen mit einem puffenden Geräusch und lassen dicke weisse Dampfwolken austreten, welche glühende Lavafetzen mitreissen. Im Krater Kirauea auf **Hawai** befinden sich glühende Lavaseen von 500 m Durchmesser, welche, beständig auf- und niederwogend, eine förmliche Brandung an den Kraterwänden erzeugen.

Die dem Krater entsteigenden Dämpfe breiten sich über demselben zu einer mächtigen Wolke aus, welcher unter Blitz und Donner ein

Fig. 320.



wolkenbruchartiger Regen entströmt, der in der Umgegend oft mehr Schaden anrichtet als die von dem Berge ausgeworfenen Schlackenmassen.

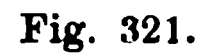
Die beim Platzen der Dampfblasen in die Höhe geschleuderten Schlacken bilden eine glühende Garbe, welche der pinienförmig ausgebreiteten Wolke gleichsam als Stamm dient. Dazu kommt noch, dass die aufsteigenden Dämpfe, durch die glühende Lava des Kraters erleuchtet, gleichfalls wie eine Feuersäule erscheinen.

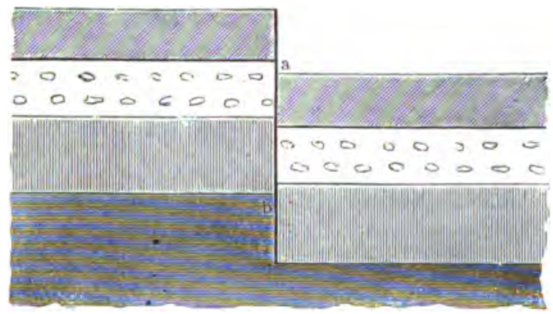
Ob bisweilen eigentliche Flammen aus dem Krater hervorbrechen, steht noch nicht völlig fest; in vielen Fällen hat man wohl die durch die glühenden Lavamassen erleuchteten Wolken, welche sich unmittelbar über dem Krater bilden, für Flammen gehalten. Doch ist es nicht ganz unwahrscheinlich, dass bisweilen auch brennbare Gase aus dem Krater ausgestossen werden und sich entzünden.

Ueber die Ursachen der vulkanischen Eruptionen sind mancherlei Hypothesen aufgestellt. Während man früher darin Ausbrüche des feuerflüssigen Erdkernes sah, ist man in neuerer Zeit theilweise dahin gekommen, als Ursache der Ausbrüche und der dabei sich zeigenden grossen Erhitzung innerer Erdtheile rein chemische Wirkungen zu sehen, die in Folge des Einwirkens von Meereswasser in tiefer gelegene Theile

der Erde entstehen. Eine dritte, und wohl die wahrscheinlichste Hypothese, beruht auf folgenden Betrachtungen:

Dass die Erde einst ein Gasball, später ein feuerflüssiger Körper gewesen, und durch allmähliche Abkühlung in den jetzigen Zustand gekommen ist, müssen wir nach den Erscheinungen der übrigen Gestirne annehmen, welche sich theils noch im gasigen Aggregatzustande befinden, wie manche Nebelflecke, theils im gluthförmigen, wie die Sonne, und theilweise völlig erkaltet sind, wie unser Mond. Die überall beobachtete Zunahme der Temperatur nach dem Erdinnern hin lässt ferner darauf schliessen, dass in grossen Tiefen die Abkühlung noch nicht vollendet ist, und die rasche Zunahme der Temperatur nach dem Erdinnern macht es sehr wahrscheinlich, dass sie in grossen Tiefen sehr bedeutend ist. Dagegen ist dort auch der Druck der oberen Gesteinsmassen sehr beträchtlich, und wenn auch nicht überall gleich gross, so doch vermuthlich im


Fig. 321.



Allgemeinen von einem solchen Betrage, dass durch ihn der Uebergang der leichter schmelzbaren Gesteine in den flüssigen Zustand verhindert wird. Es wird also vermuthlich der innere Erdkörper theilweise gänzlich erstarrt, theilweise von einer viscosen Masse sein, und letztere kann sich an solchen Stellen, wo der Druck der Erdoberfläche ein geringer ist, in eine flüssige Masse verwandeln. Nun haben sich in den oberen Erdschichten im Verlaufe ihrer Abkühlung und Zusammenziehung manche sogenannte Bruchflächen gebildet, in der Regel in der Weise, dass eine Gruppe horizontaler Schichten längs einer verticalen Fläche durchbrach und der eine Theil sich senkte, etwa wie in Fig 321 schematisch angedeutet ist. Bei solchen Bruchstellen wie ab wird nun häufig der Druck der oberen Schichten ein besonders geringer sein; und kann sich soweit verringern, dass die heisse Masse des Erdinnern in den flüssigen Aggregatzustand übergeht und in der Bruchspalte in die Höhe dringt. Dieses Aufquellen kann noch besonders befördert werden dadurch, dass Gase, welche in dem festen Gestein gebunden waren, nunmehr frei werden, sowie auch durch Entwickelung von Dämpfen, welche in Folge des Einsickerns von Wasser in die tiefer gelegenen Regionen der Erde stattfindet.

Eine Stütze dieser Hypothese findet sich in dem Umstande, dass die Vulkane sich vorwiegend in der Nähe solcher beschriebenen Bruchflächen befinden und dass meistens während der Eruptionen Wasserdämpfe dem Krater entströmen. Bruchflächen finden sich aber häufig bei den Ufern der Meere, und somit würde es auch erklärlich sein, dass die überwiegende Anzahl von Vulkanen sich in nicht sehr grosser Entfernung vom Meere befindet.

Die Vertheilung der Vulkane über der Erde ist nach Neumayr etwa folgende:

Festland von Europa (Vesuv)	1
„ „ Afrika	17
„ „ Nordamerika	23
„ „ Centralamerika	26
„ „ Südamerika	37
„ „ Asien	15
Inseln des Mittelländischen Meeres	6
Island	9
Jan Mayen	2
Azoren	6
Kanaren	3
Kapverdische Inseln	1
Antillen	6
Submarine Vulkane im Atlantischen Ocean	3
Westindien	5
Feuerland	1
Aleuten	31
Kurilen	10
Neuseeland	3
Vulkane im Stillen Ocean	26
Neuguinea	5
Japan	17
Zwischen Japan und den Philippinen	8
Philippinen, Molukken, Sundainseln	49
Vulkane im Indischen Ocean	6
Kontinentale und küstennahe Inseln Afrikas	10
Südliches Eismeer	2
Zusammen	328

Die meisten Vulkane bieten abwechselnd Perioden der Ruhe und der Thätigkeit dar, und es scheint, dass die Intensität der Ausbrüche einigermaassen im umgekehrten Verhältniss zur Häufigkeit derselben steht. Die heftigsten Ausbrüche finden stets nach einer längeren Periode der Ruhe statt. Den Vesuv betrachteten die Alten für einen ausgebrannten Vulkan, bis der pompejanische Ausbruch seine Thätigkeit mit einer Eruption wieder eröffnete, welche bis jetzt ihres Gleichen an Furchtbarkeit kaum wieder gehabt hat.

Auch die Höhe der Vulkane scheint mit der Häufigkeit der Ausbrüche in einiger Beziehung zu stehen, indem bei niedrigen Vulkanen die Ausbrüche meistens häufiger sind als bei höheren. Die Eruptionen des 925 m hohen Stromboli finden täglich, ja fast stündlich statt. Bei dem 1200 m hohen Vesuv vergeht fast kein Jahr ohne Ausbruch. Längere Intervalle bietet der 3400 m hohe Aetna, und der 5963 m hohe Cotopaxi zeigt durchschnittlich in einem Jahrhundert nur eine Eruption.

Erdbeben. Erderschütterungen, ähnlich denen, welche wir bereits 202 als ein vulkanische Ausbrüche begleitendes Phänomen kennen lernten, treten hier und da mit einer Heftigkeit auf, welche die furchtbarsten Verheerungen anzurichten im Stande ist, wie dies unter anderen folgende Beispiele darthun.

Nachdem Lima schon im Jahre 1682 durch eine Erderschütterung zerstört worden war, wurde die unglückliche Stadt am 28. October 1746 abermals durch ein Erdbeben heimgesucht. In wenigen Minuten wurden 11 Kirchen, 38 Klöster und 4000 Häuser umgestürzt und in einen Trümmerhaufen verwandelt. Von den 53000 Einwohnern retteten verhältnissmässig wenige ihr Leben.

Durch das Erdbeben, welches am 1. November 1755 in Lissabon stattfand, wurden ausser anderen Gebäuden allein 32 der grössten Kirchen umgestürzt und 30000 Menschen unter den Trümmern begraben.

In den Monaten Februar und März des Jahres 1783 wurden Calabrien und Sicilien fast täglich durch heftige Erdstösse erschüttert, deren erster am 5. Februar Messina zerstörte. In jener Unglücksperiode wurden in den genannten Gegenden 400 Städte und Dörfer zerstört, wobei im Ganzen 100000 Menschen umgekommen sein sollen.

Die Stadt Caracas wurde in den Jahren 1766, 1797 und 1812 durch Erdbeben verwüstet; Sicilien wurde 1818 abermals durch ein Erdbeben heimgesucht, welches namentlich die Stadt Catania zerstörte. Im Jahre 1822 fanden heftige Erdbeben in Syrien und Chile statt. Im December 1857 fand wieder ein heftiges Erdbeben in Calabrien statt. 1870 wurde die Griechische Landschaft Phokis, 1880 Agram und Anos, 1881 und 1883 Ischia, 1893 Zante von heftigen Erdbeben erschüttert.

Wohl jedes Jahrhundert hat eine Anzahl heftiger Erdbeben aufzuweisen, während kein Tag vergeht, an welchem nicht an verschiedenen Orten der Erde schwächere Erdbeben vorkommen.

Man hat beinahe ohne Ausnahme bemerkt, dass die heftigsten Erdbeben zugleich die kürzesten sind; die verheerendsten Stösse sind gewöhnlich nur das Werk weniger Augenblicke. Lissabon wurde im Jahre 1755 durch drei Stösse zerstört, welche in einem Zeitraum von sechs Minuten auf einander folgten. Messina wurde im Jahre 1783 durch zwei und Caracas im Jahre 1812 durch drei Stösse zerstört, welche letzteren innerhalb einer Minute stattfanden.

Jenen Hauptstössen folgen gewöhnlich andere, minder heftige Bewegungen, welche sich Wochen, ja Monate lang wiederholen. So wurden die Bewohner von Lissabon nach der erwähnten Katastrophe noch ein Jahr lang durch stets wiederkehrende Erdstösse in Furcht und Schrecken erhalten, und nach dem Erdbeben, welches im Jahre 1783 Messina zerstörte, war der Boden in Calabrien noch sechs Jahre hindurch in beständiger Aufregung.

Im Centralpunkte eines Erdbebens erleidet der Boden zunächst heftige Stösse in verticaler Richtung, welche oft noch mit Bewegungen in horizontaler Richtung combinirt erscheinen. So soll z. B. im Jahre 1883 der Erdboden in Calabrien während der Erdstösse in einer Bewegung gewesen sein, wie Sand, welcher auf einen Tisch gestreut ist, der von unten gestossen und zugleich in horizontaler Richtung hin und her gerüttelt wird. Menschen und Wohnungen wurden durch die Erdstösse in die Höhe geschleudert, um in einiger Entfernung wieder nieder zu fallen.

Aehnliche Erscheinungen werden auch von dem Erdbeben zu Riobamba (1797) berichtet.

Von dem Orte aus, welcher von den Hauptströmen eines Erdbebens getroffen wird, verbreitet sich die Erschütterung des Bodens, meist wellenartig sich ausbreitend, auf grössere Entfernungen hin. So wurde z. B. das Erdbeben von Lissabon wenigstens auf der ganzen pyrenäischen Halbinsel verspürt und der durch dasselbe veranlasste Wellenschlag im Atlantischen Ocean verbreitete sich bis nach Westindien hin.

Das Erdbeben, welches am 15. Juli 1855 im Visper Thal (Canton Wallis) Häuser und Kirchen einstürzen machte, war noch in Genf, Neufchâtel, Basel und Luzern stark genug, um leichte Beschädigungen an Gebäuden hervorzubringen und wurde überhaupt noch bis Genua, Valence, Dijon, Metz, Wetzlar, Koburg und Bregenz verspürt.

Am 20. März 1861, Abends 9 Uhr, wurde zu Buenos-Ayres am Pendel einer gerade still stehenden Uhr eine deutlich bemerkbare unregelmässige Bewegung beobachtet, während die Schwingungen eines in der Ebene von Nord nach Süd sich bewegenden Regulatorpendels, dessen gewöhnlicher Gang nur $2^1/_2{}^0$ beträgt, bis auf 8^0 wuchsen. Einige Tage später kam die Nachricht, dass an demselben Tage und zu derselben Stunde die 140 deutsche Meilen entfernte Stadt Mendoza durch ein Erdbeben zerstört worden sei.

Gleich der erste Stoss dieses Erdbebens war so stark, dass die einstöckigen Häuser der Stadt einstürzten und so plötzlich, dass Niemandem Zeit blieb, ins Freie zu flüchten, und alle Einwohner, welche gerade in ihren Wohnungen waren, erschlagen oder verschüttet wurden. Ungefähr 10000 Menschen, $^3/_4$ der ganzen Einwohnerschaft, kamen auf diese Weise um.

Durch starke Erdbeben werden nicht selten mehr oder weniger bedeutende Spalten im Boden erzeugt. So entstanden z. B. bei dem schon

mehrfach erwähnten Erdbeben von Calabrien Erdspalten, welche über eine halbe Stunde lang, an 100 Fuss breit und eben so tief waren. In einzelnen Fällen zeigten die beiden Lippen solcher Spalten eine merkliche Höhendifferenz, so dass die eine oft 15 Fuss höher war als die andere, es musste also der Boden auf der einen Seite entweder gehoben oder auf der anderen gesenkt worden sein.

Nach dem Erdbeben in Chile am 20. Februar 1835 war die Oberfläche der Felsen auf der Insel Quiriquina bei Conception wie Glas zersplittert und in einen Trümmerhaufen verwandelt.

Bei dem Erdbeben von Riobamba entstanden Klüfte, die sich abwechselnd öffneten und wieder schlossen und in welchen ganze Züge von Reitern und beladenen Maulthieren verschwanden.

Die frühere Ansicht über Ursprung und Wesen der Erdbeben ging dahin, sie ausnahmslos als ein mit dem Vulkanismus in engster Beziehung stehendes Phänomen zu betrachten und gleichsam einer Reaction des feurig-flüssigen Erdkernes gegen die ihn einhüllende feste Rinde zuzuschreiben. Diese Ansicht wird jetzt wohl kaum noch von irgend einem Geologen vertreten.

Allerdings sind mit heftigen Ausbrüchen der Vulkane gewöhnlich starke Erderschütterungen verbunden, wie z. B. schon von dem jüngeren Plinius über den Ausbruch des Vesuv vom Jahre 79 n. Chr. berichtet wird, dass er mit einem heftigen Erdbeben begann. Wir haben aber gesehen, dass auch die Vulkane keinen Beweis von einem glühend-flüssigen Erdkern geben, und dass die Annahme eines solchen überhaupt unzulässig ist.

Wenn wir aber davon ausgehen, dass die Temperatur im Inneren der Erde eine beträchtliche ist, wie dies nicht bezweifelt werden kann, dass sie aber durch Ausstrahlung allmählich, wenn auch nur sehr langsam, niedriger wird, so ist es klar, dass in Folge der dadurch eintretenden Zusammenziehung der Erde in ihren oberen Theilen Spannungen mannigfacher Art entstehen müssen. Diese Spannungen können so gross werden, dass sie zu Brüchen in den Gesteinsschichten führen, und es wurde oben gezeigt, wie in Folge solcher Brüche Vulkane enstehen können. In vielen Fällen wird es zwar zu einer Entstehung von Vulkanen nicht kommen, es müssen aber, wenn grosse Schichten von Gesteinen auseinanderbrechen, und Niveauverschiedenheiten in den einzelnen, früher verbunden gewesenen Theilen von Geschieben entstehen, nothwendig starke Erderschütterungen hervorgerufen werden. Sorgfältige Untersuchungen, welche von Seebach, Lasaulx und Anderen ausgeführt sind, auf die wir hier nicht näher eingehen können, haben gezeigt, dass durchweg, wo eine nähere Prüfung der Erdbeben möglich war, die Katastrophe, durch welche sie bewirkt waren, nur wenige Kilometer unter der Erdoberfläche stattgefunden hat.

Wir sehen also, dass Erdbeben vielfach mit den Ausbrüchen der Vulkane insofern einen Zusammenhang haben, als sie beide unter Um-

ständen durch die gleiche Ursache bewirkt werden können. Indessen können unzweifelhaft Erdbeben auch durch Ursachen entstehen, welche ausser aller Verbindung mit der Bildung und den Ausbrüchen der Vulkane stehen.

So trat z. B. Volger, welcher die Erscheinung des Erdbebens von Visp im Jahre 1855 besonders gründlich studirt hat, der Lehre vom vulkanischen Ursprunge des Erdbebens entschieden entgegen und suchte sie auf eine allmähliche Auflösung der Gesteine zurückzuführen.

Die atmosphärische Feuchtigkeit, welche kohlensäurehaltig in das Innere der Gebirge eindringt, nagt unaufhörlich an den Schichten, auf welchen sie rinnt; ganz besonders sind diesem Auslaugungsprocess der kohlensaure Kalk, namentlich aber der Gyps unterworfen. Durch die Quellen werden den Gebirgen enorme Massen von kohlensaurem Kalk und Gyps entführt.

Die Menge des kohlensauren Kalkes, welche der Rhein jährlich an der Stadt Basel vorüberführt, würde, als dichter Kalkstein berechnet, einen Würfel von 800 Fuss Seite darstellen, und diese Masse ist den Gebirgen der Schweiz entnommen.

Noch ungleich bedeutendere Massen werden durch zahlreiche warme Quellen den Gypslagern in Wallis entführt. Die Lorenzquelle allein entführt dem Gebirge jährlich eine Gypsmasse, welche als Gypsfelsen berechnet einen Raum von 60 000 Kubikfuss einnehmen würde; diese einzige Quelle muss also im Laufe eines Jahrhunderts einen Hohlraum zwischen den Gebirgsschichten erzeugen, welche bei einer Quadratmeile Flächeninhalt etwa $1/4$ Fuss Höhe haben müsste.

Derartige ununterbrochene unterirdische Auslaugungen müssen aber ein allmähliches Einsinken und Niederbrechen der oberen Schichten zur Folge haben, welches dann die unmittelbare Ursache des Erdbebens ist.

Die Erdbeben, von welchen Grossgerau (zwischen Mainz und Darmstadt) vor einigen Jahren wiederholt heimgesucht wurde, bringt Mohr mit den zahlreichen Salzquellen in Verbindung, welche sich am Fusse des Taunusgebirges befinden (Wiesbaden, Soden, Homburg, Nauheim etc.). Durch diese Quellen werden unterirdische Salzlager ausgelaugt und auf diese Weise Höhlungen erzeugt, deren Einstürze jene Erdbeben zur Folge haben.

203 **Erdbebenfluthen.** An die vulkanischen Ausbrüche und Erdbeben schliessen sich häufig gewaltige Bewegungen der Meere, welche bisweilen mehr Unheil angerichtet haben, als die Erderschütterungen, durch welche sie hervorgerufen wurden. So erhob sich nach dem Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755 eine Fluthwelle, welche 60 000 Menschen den Tod gebracht haben soll. Bei einem Erdbeben, durch welches am 28. October 1724 Lima zerstört wurde, überschwemmte eine Fluthwelle Callao, riss alle Gebäude nieder und vernichtete fast die gesammte Einwohnerschaft. Ausserordentlich gross ist zum Theil die Verbreitung

dieser Erdbebenwellen. So wurden nach dem Erdbeben von Arica am 13. August 1868 Fluthwellen bei Sydney, an der Küste von Neuseeland und den Sandwich-Inseln beobachtet. Nach dem Ausbruch des Krakatau am 26. August 1883 entstand eine Fluthwelle, welche bei der Landenge von Panama und der Insel Süd-Georgien, auf welcher letzteren sich zu jener Zeit eine Deutsche wissenschaftliche Expedition befand, durch die registrirenden Fluthmesser aufgezeichnet wurde. Häufig sind auch aussergewöhnliche Fluthwellen beobachtet, die mit Erdbeben oder vulkanischen Ausbrüchen zusammenhängen mögen, von denen man keine Nachricht erhalten hat. So sind am 13. März 1888 an der Westküste von Neu-Pommern die Deutschen v. Below und Hunstein, welche dorthin eine Forschungsreise unternommen hatten, einer sie überraschenden Fluthwelle zum Opfer gefallen, deren Ursache zwar nicht sicher festgestellt werden kann, aber wahrscheinlich mit einer am Grunde des Meeres stattgehabten Erderschütterung zusammenhängt. Am 14. bis 17. März 1888 wurden in Sydney und Arica ungewöhnliche Meeresbewegungen beobachtet, welche möglicherweise mit der Katastrophe vom 13. März in Verbindung standen.

In der Regel bemerkt man an den Küsten vor dem Eintreten einer Erdbebenfluth ein starkes Zurückziehen des Wassers. Bei dem Erdbeben von Lissabon wurde zuerst die Barre in Folge des Zurückweichens des Meeres trocken gelegt, dann kam das Wasser zurück, 16 m höher als sein gewöhnlicher Stand, und ergoss sich über die Stadt. Ganz ähnliche Erscheinungen sind vielfach, wenn auch nicht immer, beobachtet worden. Sie sind zum Theil dahin gedeutet worden, dass am Grunde des Meeres Einstürze weit verbreiteter Gesteinsmassen stattgefunden haben, welche eine plötzliche Erniedrigung der über ihnen befindlichen Meeresoberfläche im Gefolge hatten. Dann muss in der That das Wasser sich von allen Seiten nach dem Orte der Katastrophe hinbewegen, wodurch ein Zurückziehen an den Ufern bewirkt wird. Eine weitere Folge wird aber die Bildung eines Wellenberges an demselben Orte der Meeresoberfläche sein, wo vorher sich eine Vertiefung befand; — das Wasser wird wieder nach allen Seiten zurückströmen; es wird im Centrum der Bewegung wieder ein Wellenthal entstehen u. s. w., bis nach einer Reihe solcher Oscillationen allmählich wieder das Gleichgewicht in der Oberfläche des Meeres eintritt.

Die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Erdbebenwellen fortbewegen, hängt von der Tiefe des Gewässers ab, und ist, wie Hochstetter an der Erdbebenwelle des Erdbebens von Arica (13. August 1868) und Geinitz an derjenigen des Erdbebens von Iquique (9. Mai 1877) nachgewiesen, genau gleich der Geschwindigkeit derjenigen Wellen, welche durch die Mondfluth bewirkt werden.

Quellentemperatur. Das als Regen, Schnee, Thau u. s. w. aus 204
der Atmosphäre auf den Boden gelangende Wasser kehrt theilweise durch Verdunstung wieder in die Luft zurück, theilweise wird es durch den

Vegetationsprocess consumirt, ein sehr bedeutender Theil aber sickert in den Boden ein, um an tieferen Stellen als Quellen hervorzubrechen. Das Wasser sickert in einem lockeren Boden nieder, bis es auf eine Lehm- oder Felsenschicht gelangt, die ein weiteres Vordringen hindert; entweder wird es nun auf diesen mehr oder weniger geneigten Schichten fortfliessen, bis es am Ausgange derselben als Quelle erscheint, oder es folgt den Felsspalten und Klüften, auf welchen es endlich wieder einen Ausweg findet. Jedenfalls nimmt das Wasser allmählich die wenig veränderliche Temperatur der Erd- und Felsschichten an, mit denen es längere Zeit in Berührung steht, und so kommt es denn, dass die Temperatur der Quellen fast das ganze Jahr hindurch ziemlich constant bleibt, wenigstens wenn sie einigermaassen wasserreich sind. Die Temperaturschwankungen solcher Quellen betragen im Laufe eines Jahres höchstens 1 bis 2^0; ihre höchste Temperatur erreichen sie auf unserer Hemisphäre im September, ihre niedrigste im März.

Die mittlere Temperatur dieser Quellen ist, wie die der Erdschichten, aus welchen sie kommen, meist wenig von der mittleren Lufttemperatur des Ortes verschieden, an welchem sie hervorbrechen; in der Regel ist die Quellentemperatur etwas höher, und dieser Ueberschuss steigt in höheren Breiten, wie Wahlenberg gezeigt hat, auf 3 bis 4^0; dagegen machen es die Beobachtungen, welche in der heissen Zone gemacht wurden, wahrscheinlich, dass dort die mittlere Quellentemperatur etwas niedriger ist als die mittlere Lufttemperatur.

Es ist demnach klar, dass die Wärme der Quellen nicht allein nach den Polen hin, sondern auch mit der Erhebung über die Meeresfläche abnimmt, wie auch die folgenden Beispiele darthun.

Quelle zu:	Höhe über dem Meeresspiegel in Metern	Temperatur
Enontekis (Lappland)	520	1,7^0 C.
Umea (Schweden)	32	2,9
München	500	9
Krün (Isarthal)	820	7,5
Rigi Kaltbad	1441	6,3
Erste Isarquelle	1860	3,4
Hochthor (Pass zwischen Möll- u. Rauristhal) .	2640	1,9
Im Stollen der Goldzeche (Bergwerk auf der grossen Fleuss im Möllthale)	2880	0,8

Die hier zusammengestellten Quellentemperaturen sind theils von Wahlenberg, theils von Schlagintweit beobachtet (Pogg. Ann. LXXVII).

Wenn das Wasser bis zu grösseren Tiefen unter die Erdoberfläche eindringt und dann auf Canäle trifft, in welchen es durch den hydrostatischen Druck wieder in die Höhe gehoben wird, so wird es aus der Tiefe auch eine sehr hohe Temperatur mitbringen, wie man sie in der That auch an solchen Quellen beobachtet, welche mit dem Namen der Thermen bezeichnet werden. In der folgenden Tabelle sind die Temperaturen einiger bekannteren Thermalquellen angegeben.

Pfäffers	37,2° C.	Ofen	64,0° C.
Wildbad	37,5	Mehadia (Ungarn)	64,0
Barèges	40,0	Baden-Baden	67,5
Aachen	44 bis 57,5	Wiesbaden	70,0
Bath	46,25	Karlsbad	75,0
Gastein	48,1	Burtscheid	77,5
Teplitz	49,4	Katharinenquellen im Kaukasus	88,7
Leuck	50,2	Trincheros in Venezuela	97
Aix in Savoyen	54,3		
Ems	56,25		

Solche Quellen sind ein unwiderlegliches Zeugniss für die höhere Temperatur, welche im Inneren des Erdkörpers herrscht.

Die periodischen Springquellen Islands. Ganz besonders 205
merkwürdige Erscheinungen bieten manche der zahlreichen heissen Quellen Islands dar. Die ganze Insel ist vulkanischen Ursprungs. Unabsehbare Schneefelder decken die Kuppen der isländischen Gebirge, von denen sich gewaltige, meilenbreite Gletscher herabsenken. Ungeheure Wassermassen brechen aus den Spalten und Gewölben dieser Gletscher hervor oder stürzen sich in Cascaden von den Eiswänden herab. Trifft nun das abziehende Wasser auf vulkanische Klüfte und Spalten, so wird es durch dieselben jenen Tiefen zugeführt, wo unter dem Einfluss der vulkanischen Bodenwärme eine Erhitzung und Dampfbildung erfolgt. Das Wasser, durch die vereinigte Kraft der Dämpfe und des hydrostatischen Druckes gehoben, bricht alsdann in mächtigen Thermen hervor.

Die isländischen Mineralquellen zeichnen sich durch einen grossen Gehalt an Kieselerde aus; sie zerfallen in saure und alkalische Kieselerdequellen, und die letzteren sind es, deren grossartige und eigenthümliche Erscheinungen wir näher betrachten wollen.

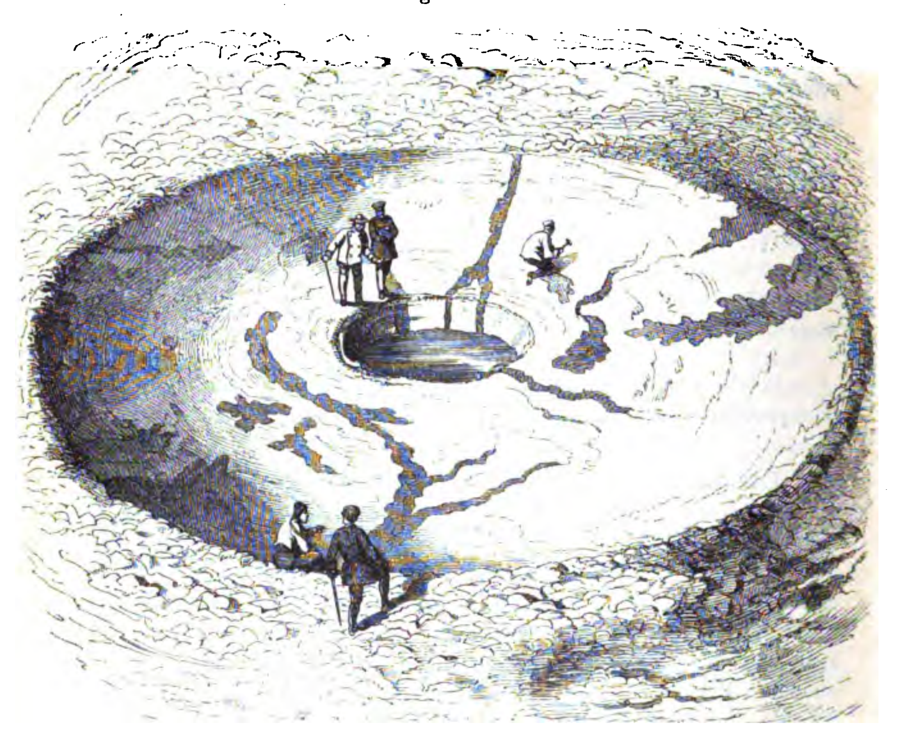
Die äusserst schwach alkalische Reaction dieser Quellen rührt von Schwefelalkalien, sowie von schwefelsaurem Kali und Natron her, welche der Kieselerde zum Lösungsmittel dienen und die für diese Quellen so charakteristischen Bildungen von Kieseltuff bedingen.

Die ausgezeichnetste unter den periodischen Springquellen Islands ist ohne Zweifel der grosse Geysir. Auf dem Gipfel eines aschgrauen, aus Kieseltuff gebildeten Kegels befindet sich ein flaches Becken von

16 m Durchmesser, in dessen Mitte sich ein Rohr von etwa 3 m Durchmesser bis in eine Tiefe von 23 m vertical hinabsenkt.

Fig. 322 ist eine Ansicht des Geysirbeckens, in dessen Mitte man die Mündung des Geysirrohres erblickt. Fig. 323 stellt einen verticalen Durchschnitt des Geysirrohres dar. Die ganze Tiefe des Wassers, von

Fig. 322.



der Oberfläche bis zum Boden des cylindrisch gezeichneten Rohres beträgt 23 m.

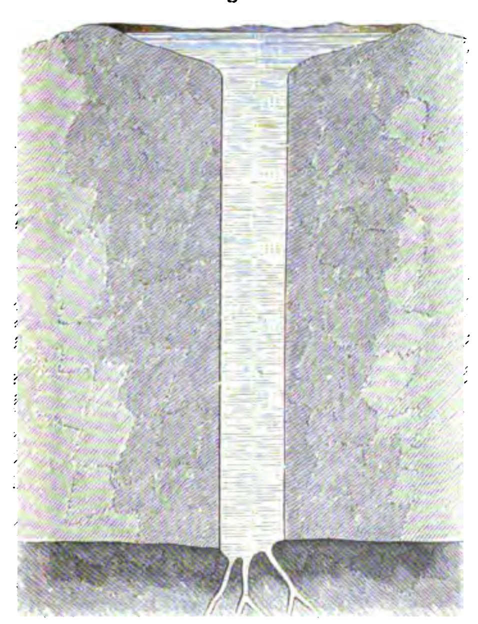
Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken mit krystallklarem, seegrünem Wasser gefüllt, welches in kleinen Abflussrinnen auf der Ostseite des Kegels abfliesst.

Von Zeit zu Zeit lässt sich ein unterirdisches Donnern hören, das Wasser im Becken schwillt an und grosse Dampfblasen steigen auf, welche an der Oberfläche zerplatzen und das siedende Wasser einige Fuss hoch in die Höhe werfen.

Darauf wird es wieder still. In regelmässigen Zwischenräumen von 80 bis 90 Minuten wiederholt sich dieselbe Erscheinung, bis endlich eine grossartige Eruption erfolgt. Das Wasser im Bassin schwillt höher an, und nach wenigen Augenblicken schiesst ein Wasserstrahl, in feinen,

blendend weissen Staub gelöst, senkrecht bis zu einer Höhe von 25 bis 30 m in die Luft; der ersten folgt eine zweite, eine dritte noch höher aufsteigende Wassersäule nach. Ungeheure Dampfwolken wälzen sich über einander und verhüllen zum Theil die Wassergarbe. Kaum ist der letzte, alle vorhergehenden an Höhe übertreffende, manchmal Steine aus der Tiefe mit emporschleudernde Wasserstrahl in die Höhe geschossen, so stürzt die ganze Erscheinung, nachdem sie nur wenige Minuten gedauert hatte, in sich zusammen, und nun liegt das vorher ganz mit Wasser gefüllte Bassin trocken vor den Augen des herannahenden Beobachters, der in dem Rohre, etwa 2 m unter dem Rande, das Wasser ruhig und still erblickt.

Fig. 323.



Allmählich fängt das Wasser im Rohre wieder an zu steigen und nach einigen Stunden ist es wieder bis zum Ueberlaufen gefüllt. Die Detonationen stellen sich aber erst vier bis sechs Stunden nach der Entleerung des Beckens wieder ein, und nehmen alsdann ihren regelmässigen Verlauf bis zur nächsten grossen Eruption, welche oft mehr als einen Tag auf sich warten lässt.

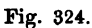
Fig. 324 (a. f. S.) stellt eine Eruption des grossen Geysirs dar. Sie ist nach einem naturgetreuen Oelgemälde copirt, welches Bunsen von seiner isländischen Expedition mitbrachte.

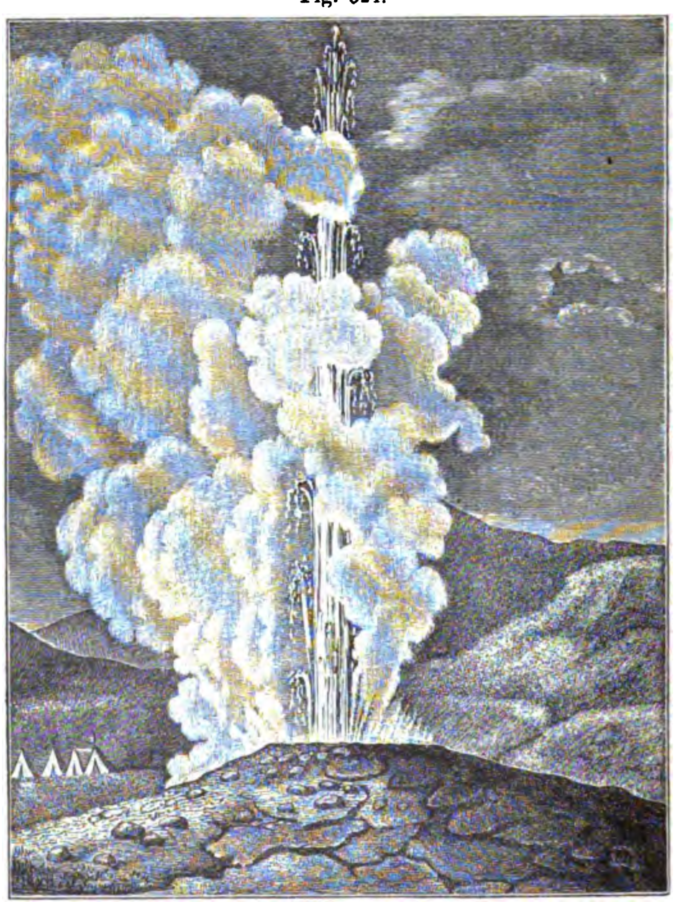
Einige hundert Schritte südwestlich vom grossen Geysir liegt eine zweite periodische Springquelle, welche der Strokkr (das Butterfass) genannt wird. Der Strokkr hat keinen Eruptionskegel von Kieseltuff; sein Rohr ist trichterförmig und hat oben einen Durchmesser von $2^1/_2$ m, während es in einer Tiefe von 8 m nur noch 25 cm weit ist. In einer Tiefe von 13 m stösst das Senkblei auf Hindernisse.

Das Wasser des Strokkr steht 3 bis 4 m unter der Mündung des Trichters; es hat also keinen Abfluss und ist in einem beständigen heftigen Sieden begriffen. Die Eruptionen des Strokkr sind häufiger als die des grossen Geysirs, während die jedesmal geförderte Wassermasse ungleich geringer ist. Durch die Ausbrüche des Strokkr werden stoss-

weise nacheinander mehrere, in den feinsten Staub aufgelöste Wasserstrahlen bis zu einer Höhe von 40 bis 50 m in die Höhe geschleudert, bis nach einigen Minuten kleinere Strahlen das Schauspiel beschliessen.

Ganz in der Nähe des grossen Geysirs und des Strokkr liegen noch gegen vierzig heisse Quellen, welche zum Theil gleichfalls periodische


Fig. 324.



Springquellen sind, theils tiefe mit ruhigem, dunkelgrünem, heissem Wasser angefüllte Bassins bilden. Die bedeutendste unter den kleineren Springquellen spritzt ihr Wasser 7 bis 10 m hoch.

Der Litli Geysir (kleine Geysir) gehört einer anderen Thermengruppe an, welche acht Meilen südwestlich vom grossen Geysir liegt. Die Eruptionen des kleinen Geysirs, welche in Zwischenräumen von $3^3/_4$ Stunden stattfinden, sind nicht durch ein stossweises, auf eine kurze Zeitdauer beschränktes Hervorbrechen des siedenden Wassers charakte-

risirt. Ihre Annäherung giebt sich durch eine allmählich zunehmende Dampfentwickelung und durch ein unterirdisches plätscherndes Geräusch zu erkennen. Dann dringt kochender Wasserschaum hervor, der in langsamen Perioden steigend und fallend sich immer höher und höher erhebt, bis er nach etwa zehn Minuten, wo die Erscheinung ihre grösste Entwickelung erreicht hat, in vertical und seitlich aufspritzenden Garben gegen 10 bis 13 m hoch emporsteigt. Dann nehmen die Strahlen an Umfang und Höhe in ähnlicher Weise ab, wie sie sich erhoben, bis die Quelle nach abermals zehn Minuten zu ihrer vorigen Ruhe zurückgekehrt ist.

Erklärung des Geysirphänomens. Schon Lottin und 206
Robert, welche im Jahre 1836 Island besuchten, haben gefunden, dass die Temperatur der Geysircolonne von oben nach unten zunimmt. — Bunsen und Descloizeaux, welche im Jahre 1846 mehrere Monate in Island zubrachten, haben durch zahlreiche Messungen die Temperaturverhältnisse des grossen Geysirs auf das Genaueste ermittelt, und dadurch den Grund zu der schönen Theorie der Geysir-Eruptionen gelegt, durch welche Bunsen die Wissenschaft bereichert hat.

An der Oberfläche ist die Temperatur des Wassers im Geysirbecken ziemlich veränderlich und von den Witterungsverhältnissen abhängig; im Mittel beträgt sie 85° C.

Innerhalb des Geysirrohres steigt die Temperatur, kleine Störungen abgerechnet, an jedem Punkte der Säule fortwährend von einer Eruption bis zur nächsten, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, welche die Resultate einer Beobachtungsreihe enthält.

Höhe über dem Boden	23 Stunden	$5^1/_2$ Stunden	10 Minuten	Siedepunkt für d. jedesmaligen Druck
	vor einer grossen Eruption			
0 m	123,6° C.	127,5° C.	126,5° C.	136,0° C.
9,6 „	113,0	120,4	121,8	124,2
14,4 „	85,8	106,4	110,0	117,4
19,2 „	82,6	85,2	84,7	107,0

Von unten her tritt also durch Canäle, deren Verlauf man nicht weiter verfolgen kann, das weit über 100° erhitzte Wasser langsam in das Geysirrohr ein, während an der Oberfläche des Beckens eine fortwährende Abkühlung stattfindet. Eine Folge davon ist, dass das heisse Wasser in der Mitte des Rohres aufsteigt, sich an der Oberfläche des Beckens gegen den Rand hin verbreitet und dann abgekühlt an dem Boden des Bassins nach der Röhre zurückfliesst.

Aus der Betrachtung der obigen Tabelle ersieht man nun, dass das Wasser an keiner Stelle und zu keiner Zeit eine so hohe Temperatur hat, wie sie erforderlich wäre, damit das Wasser bei dem auf ihr lastenden Drucke ins Kochen gerathen könnte.

Unmittelbar über dem Boden z. B. hat das Wasser ausser dem Druck der Atmosphäre noch eine Wassersäule von 23 m zu tragen; bei diesem Druck aber müsste es bis auf 136° erhitzt werden, wenn das Kochen beginnen sollte, während seine Temperatur hier 10 Minuten vor der grossen Eruption nur 126,5°, also 9,5° unter dem entsprechenden Siedepunkte war.

In einer Tiefe von 13,4 m, also 9,6 m über dem Boden, wurde kurz vor einer grossen Eruption die Temperatur des Wassers gleich 121,8°, also nur 2,4° niedriger gefunden als der Siedepunkt (124,2°), welcher dem auf dieser Stelle lastenden Druck entspricht.

Obgleich nun die Temperatur des Wassers im Geysirrohre im Allgemeinen nicht den dem Druck entsprechenden Siedepunkt erreicht, so können doch von Zeit zu Zeit einzelne Wasserparthien noch heiss genug in höheren Schichten ankommen, um Dampfblasen zu bilden, die aber bei fernerem Aufsteigen in die kälteren Schichten alsbald wieder verdichtet werden. Auf diese Weise entstehen dann die unterirdischen Detonationen und die Anschwellungen des Wassers im Geysirrohre, welche im vorigen Paragraphen erwähnt wurden.

Durch eine Bildung von Dampfblasen wird aber Wärme gebunden, die Temperatur der Wasserschichten, aus welchen die Dampfblase sich entwickelt, wird so weit erniedrigt, dass einige Zeit vergeht, bevor eine neue Blasenbildung erfolgen kann. Deshalb folgt auf jede mit einer Aufwallung im Becken begleitete Detonation eine Zeit der Ruhe.

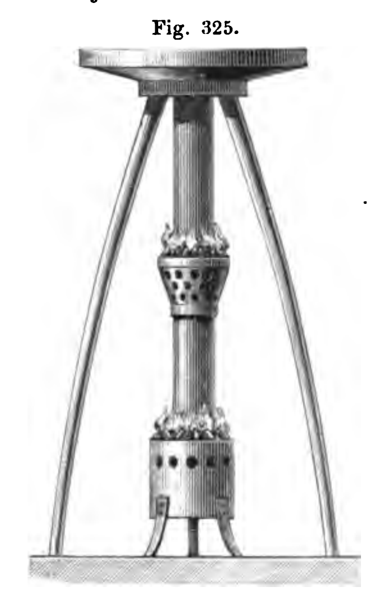
Allmählich nimmt aber die Temperatur des Wassers an allen Stellen des Geysirrohres zu, die Dampfblasen werden grösser und mächtiger, so dass sie theilweise noch die Oberfläche des Wassers erreichen. Endlich aber werden die Dampfblasen mächtig genug, um eine bedeutende Wassermasse aus dem Geysirrohre hinauszuschleudern, und dies ist dann der erste Anstoss zu einer grossen Eruption. Indem nämlich durch solche Dampfblasen ein Theil der Wassersäule aus dem Rohre hinausgeschleudert wird, wird der Druck, welcher auf den tieferen Schichten lastet, so weit vermindert, dass auf einmal eine so massenhafte Dampfentwickelung stattfindet, wie sie nothwendig ist, um die Eruptionen zu bewirken, die wir oben kennen lernten.

Wenn z. B. eine mächtige Dampfblase so viel Wasser aus dem Rohre hinaustreibt, dass die auf den tieferen Schichten lastende Wassersäule dadurch um 2 m verkürzt wird, so wird der Druck, welcher auf der 9,6 m über dem Boden sich befindenden Wasserschicht lastet, so weit vermindert, dass dieselbe schon bei einer Temperatur von ungefähr 120° ins Kochen gerathen kann. Da nun aber an dieser Stelle das Wasser, wie wir oben gesehen haben, die Temperatur von 121,8° hat, so

ist klar, dass nun hier eine so mächtige Dampfentwickelung stattfinden muss, dass von Neuem ungeheure Wassermassen aus dem Rohre in die Höhe geschleudert werden. Dadurch werden aber auch die nächsttieferen Schichten ins Kochen gebracht, welche noch grössere Wassermassen in die Höhe treiben, bis endlich die im Rohre aufgespart gewesene Wärme so weit consumirt ist, dass keine weitere Dampfbildung mehr stattfinden kann.

Nur theilweise fällt das abgekühlte Wasser in das Bassin herab, ohne es jedoch ausfüllen zu können. Die ganze Wassersäule ist jetzt so stark abgekühlt, dass erst nach vier bis fünf Stunden die erwähnten Detonationen wieder eintreten können.

Fig. 325.



Der Sitz der Kraft, welcher die in kochenden Schaum verwandelte Wassermasse emporschleudert, ist also in dem Geysirrohre selbst und nicht, wie man früher glaubte, in unterirdischen Höhlungen zu suchen, welche abwechselnd bald mit Wasser, bald mit Dampf gefüllt sein sollten.

Wenn Bunsen's Erklärung der Geysir-Eruptionen die wahre ist, wenn er die Bedingungen des Phänomens richtig erkannt hat, so muss man auch im Stande sein, sie nachzuahmen. Der Apparat, den man zu diesem Zwecke construirt hat, ist in Fig. 325 abgebildet. Eine ungefähr 1,7 m hohe Blechröhre von 14 cm Durchmesser ist unten geschlossen und mündet oben in ein flaches Becken von Blech, welches etwas über 70 cm im Durchmesser hat. Ungefähr in der Mitte seiner Höhe ist an diesem Rohre ein von durchlöchertem Blech gebildetes Kohlenbecken befestigt. Der ganze Apparat wird durch einen hölzernen Ring getragen, welcher auf drei Beinen ruht.

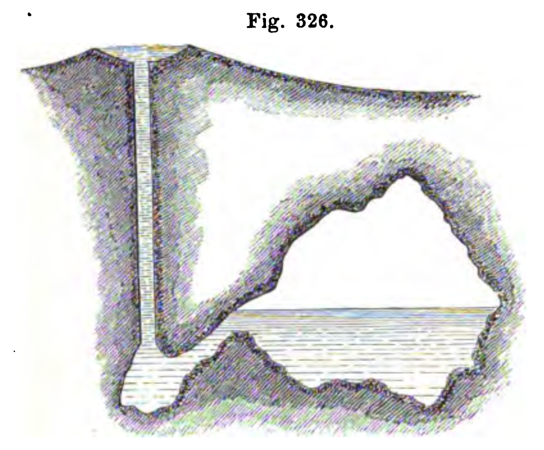
Das Rohr wird ungefähr bis zu seiner Mündung in das Becken mit Wasser gefüllt, sein unteres Ende in einen mit glühenden Kohlen gefüllten kleinen Ofen gesenkt und auch der mittlere Kohlenbehälter mit glühenden Kohlen gefüllt.

Die Wassermasse zwischen den beiden Kohlenbecken wird nun nach einiger Zeit bis zu der Siedetemperatur erwärmt sein, welche dem auf ihr lastenden Druck entspricht. Beginnt nun an der Stelle des oberen Kohlenbeckens die Dampfbildung, so werden die ersten Dampfblasen nur ein Aufwallen des Wassers im Becken bewirken, bis endlich, nach einigen solchen, gleichsam vergeblichen Versuchen, eine Eruption erfolgt, welche das siedende Wasser bis zu 1 m hoch über das Bassin in die Höhe schleudert.

Betrachten wir nun zum Schlusse noch die Bildung des Geysirrohres. Der Quellenboden ist aus Tuff gebildet, welcher durch das heisse Wasser zerlegt wird. Besonders unter dem Einflusse des kohlensauren Natrons und Kalis wird die Kieselerde gelöst, so dass die ursprüngliche Gesteinsmasse in ein Thonlager verwandelt wird, welches von den Kieselincrustationen der Quelle bedeckt ist.

Der Gehalt des Geysirwassers an kohlensaurem Kali und Natron bewirkt, dass es selbst vollständig erkaltet noch klar bleibt und eine Ausscheidung der Kieselerde erst bei vollständiger Verdampfung des Wassers eintritt. Daher kommt es denn, dass das Quellenbassin selbst von Kieselbildungen frei bleiben muss, während seine den Wasserspiegel überragenden Ränder, an denen die durch Capillarität eingesogene Flüssigkeit leicht und schnell verdampft, sich mit einer Kieselkruste überkleiden. Auf diese Weise baut sich das Quellenbassin, indem es sich mit einem Hügel von Kieselsinter umgiebt, zu einer tiefen Röhre auf, die, wenn sie eine gewisse Höhe erreicht hat, alle Bedingungen in sich vereinigt, um die Quelle in einen Geysir, d. h. in eine Springquelle zu verwandeln.

Fig. 326.



Die Kieselsinterbildungen schreiten aber unaufhörlich fort, bis sie endlich im Laufe der Jahrhunderte eine Höhe erreicht haben, welche der Eruptionsthätigkeit der Quelle ein Ziel setzt, wenn endlich die von unten zugeführte Wärme nicht mehr hinreichend ist, um bei dem erhöhten Druck an irgend einer Stelle des Rohres eine Dampfbildung zu bewirken. Es entstehen dann grosse, mit heissem Wasser gefüllte Tuffreservoire.

Etwas oberhalb des gegenwärtig in voller Thätigkeit begriffenen Quellenbezirkes des grossen Geysirs erblickt man noch mehrere solcher mit heissem Wasser gefüllte Behälter, in deren Tiefe man noch die alten Geysirmündungen durchschimmern sieht.

Die Eruptionen des Strokkr kommen wahrscheinlich in ähnlicher Weise zu Stande, wie die des grossen Geysirs, aber jedenfalls hat die Kraft, welche das Wasser in die Höhe schleudert, ihren Sitz in einer grösseren, für directe Versuche unzugänglichen Tiefe.

Anders verhält es sich mit dem Litli Geysir, dessen Erscheinungen von der Art sind, dass sie mit der von Makenzie zuerst aufgestellten Hypothese unterirdischer Dampfkessel, welche man mit Unrecht

auch zur Erklärung der Eruptionen des grossen Geysirs benutzt hat, im völligen Einklang stehen.

Fig. 326 dient dazu, die ältere Geysirtheorie zu erläutern. Eine Eruption erfolgt, wenn die in der seitlichen Höhlung angesammelten Dämpfe hinlängliche Spannkraft erlangt haben, um sich einen Ausweg durch das Geysirrohr zu erzwingen.

Die heissen Quellen Neuseelands. Während sich auf der 207
Südinsel Neuseelands ein riesiges Alpengebirge mit schneebedeckten Kämmen und Gipfeln erhebt, ist die Nordinsel durchaus vulkanischer Natur und es ist hier das Phänomen der heissen Quellen in grossartigster Weise entwickelt.

Ungefähr im Mittelpunkte des breiteren Theiles der Nordinsel liegt 400 m über dem Meere der Taupo-See (41 km lang, 33 km breit).

An der Südspitze des Sees erhebt sich eine Gruppe von Kegelbergen, von denen Pihanga und Kakaramea (1140 und 940 m über dem Meere) die höchsten sind. Beide Krater gelten als erloschen, allein die vulkanischen Kräfte der Tiefe sind noch keineswegs zur Ruhe gekommen, denn am nördlichen Abhang und am Fusse des Kakaramea dampft, brodelt und kocht es an mehr als hundert Stellen.

Der ganze nördliche Abhang des Kakaramea-Berges scheint von heissem Wasser weich gekocht und im Abrutschen begriffen zu sein. Aus allen Sprüngen und Klüften dieser Bergseite strömt heisser Wasserdampf und kochendes Wasser mit einem fortwährenden Getöse, als wären Hunderte von Dampfmaschinen im Gange.

Das Hauptquellengebiet dieser Gegend liegt jedoch am Nordwestabhang des Pihanga bei dem Maori-Dorfe (Maori ist der Name der eingeborenen Bevölkerung) Tokanu an dem Flusse gleiches Namens.

Die gewaltige, weithin am See sichtbare Dampfsäule, die man bei Tokanu aufsteigen sieht, gehört dem grossen Sprudel Priori an. Aus einem tiefen Loche an der linken Uferwand des Tokanu-Flusses steigt eine siedend heisse Wassersäule von 70 cm Durchmesser, stets unter starker Dampfentwickelung 2 bis $3^1/_2$ m hoch wirbelnd in die Höhe. Nach Aussage der Eingeborenen soll das Wasser oft mit gewaltigem Getöse mehr als 13 m hoch ausgeworfen werden. In der Nähe des Priori-Sprudels befinden sich zahlreiche, mit chalcedonartigem Kieselsinter überzogene Kessel, welche mit fortwährend kochendem, klarem Wasser oder mit einem graulich-weissen Schlamm gefüllt sind. In kleineren Löchern, wo nur heisser Wasserdampf ausströmt, steigt das Thermometer auf 98° C. Die Eingeborenen benutzen solche Dampflöcher zum Kochen und haben besondere Hütten für den Winter auf dem warmen Grunde errichtet. Sie nennen die heissen Quellen Puia und unterscheiden Papa-Puia, die Quellen mit klarem Wasser, welche Kieselsinter absetzen, und Uku-Puia, die kochenden Schlammpfühle, und kleinen Schlammvulkane. Die zum Baden geeigneten Quellen,

deren Wasser nie die Siedehitze erreicht, und alle warmen Bäder heissen Waiariki.

Wie das Südende, so ist auch das nördliche Ende des Sees durch warme Quellen bemerkenswerth, welche am Fusse des malerischen Tauhara-Berges entspringen. Wohl auf eine Meile Erstreckung, dem Ufer entlang, dampft der See, als wäre es ein See heissen Wassers. Hochstetter fand hier die Temperatur des Seewassers gleich 38° C.

Der nördlichsten Spitze des Taupo-Sees entströmt der Waikato, welcher alsbald zum mächtigsten Strom der Nordinsel anschwillt. Nach seinem Ausfluss aus dem See strömt er ungefähr vier Meilen weit in nordöstlicher Richtung hin, um sich alsdann in einem grossen Bogen nordwestlich zu wenden und in ein Bergland einzutreten, welches er in enger Felsschlucht durchbrochen hat. Hier nun befinden sich die Puias von Orakeikorako, welche eines der interessantesten Quellengebiete jener Gegend bilden. Hochstetter beschreibt das Schauspiel, welches sich ihm hier darbot, in folgender Weise:

„Reissenden Laufes, Stromschnelle hinter Stromschnelle bildend, stürzt sich der Waikato durch ein enges, tief zwischen steil emporsteigenden Bergen eingerissenes Thal; — — an den Ufern aber steigen weisse Dampfwolken auf, von heissen Cascaden, die in den Fluss fallen, und von Kesseln siedenden Wassers, die von weissen Steinmassen umschlossen sind. Dort steigt eine dampfende Fontaine in die Höhe und sinkt wieder nieder; jetzt erhebt sich an einer anderen Stelle eine zweite Fontaine. Auch diese hört auf, dort aber fangen zwei zu gleicher Zeit an zu springen, die eine ganz unten am Flussufer, die andere gegenüber auf einer Terrasse, und so dauert das Schauspiel wechselnd fort. — — — Ich fing an, alle die einzelnen Stellen zu zählen, wo ein kochendes Wasserbecken sichtbar war oder wo eine Dampfwolke ein solches andeutete. Ich zählte 76 solcher Punkte, ohne jedoch das ganze Gebiet übersehen zu können, und darunter sind viele intermittirende geysirähnliche Springquellen, welche periodische Wassereruptionen haben.

„Dieses Quellengebiet erstreckt sich dem Waikato entlang etwa eine englische Meile weit an beiden Ufern des Flusses. Der grössere Theil der Quellen liegt am rechten Ufer, ist aber äusserst schwer zugänglich. — — Ich musste mich auf eine nähere Besichtigung der am linken Flussufer dicht unter dem Dorfe (Orakeikorako) liegenden Quellen beschränken.

„Eine grosse 120 Schritt lange und eben so breite, aus weisslichem Kieselsinter bestehende Felsplatte, die sich bis in den Waikato hineinzieht, eine wahre Sprudelschale, umfasst einige der merkwürdigsten und bedeutendsten Quellen des ganzen Gebietes, vor allem die Puia te mimi a Homaiterangi. Sie liegt dicht am Flussufer auf einem blasenförmig erhobenen Theil der Sprudelschale. — — Meine Reisegefährten Haast und Hay wollten sich am frühen Morgen den Genuss eines Bades im Waikato verschaffen und hatten eben ihre Kleider in der Nähe eines Bassins voll siedenden Wassers niedergelegt, als sie plötzlich neben sich

eine heftige Detonation vernahmen und sahen, wie das Wasser im Becken mächtig aufwallte. Erschreckt sprangen sie zurück und hatten eben noch Zeit, einem Giessbad siedend heissen Wassers zu entrinnen; denn aus dem Bassin wurde jetzt unter Zischen und Brausen eine dampfende Wassersäule in schiefer Richtung gegen 20 Fuss in die Höhe geworfen. Noch in grösster Aufregung erzählten mir meine Gefährten ihr Abenteuer mit dem heimtückischen Geysir; als ich aber zur Stelle kam, war längst wieder alles ruhig und in dem 4 bis 5 Fuss weiten kesselförmigen Becken sah ich krystallhelles Wasser nur leicht aufwallen. Es zeigte eine Temperatur von 94° C. — — — Die erste Wasser-Eruption, welche ich selbst beobachtete, erfolgte um 11 Uhr 20 Minuten Vormittags. Das Becken war kurz vor der Eruption bis zum Rande voll. Unter deutlich vernehmbarem, murmelndem Geräusche in der Tiefe des Beckens kam das Wasser in immer heftigeres Kochen und wurde dann plötzlich unter einem Winkel von 70° in südöstlicher Richtung 20 bis 30 Fuss hoch ausgeworfen. Mit dem Wasser brachen unter zischendem Gebrause gewaltige Dampfmassen aus dem Kessel hervor, welche die Wassergarbe theilweise verhüllten. Dies dauerte $1^1/_2$ Minuten, dann nahm die auswerfende Kraft ab, das Wasser sprang nur 1 bis 2 Fuss hoch und nach zwei Minuten hörte unter einem dumpfen gurgelnden Geräusch das Wasserspiel ganz auf. Als ich jetzt an das Bassin herantrat, war es leer und ich konnte 8 Fuss tief hinabsehen in ein trichterförmig sich verengendes Loch, aus dem unter Zischen Wasserdampf entwich.

„Allmählich stieg das Wasser wieder; nach zehn Minuten war das Becken von Neuem voll und um 1 Uhr 36 Minuten fand eine zweite, um 3 Uhr 10 Minuten eine dritte Eruption statt.

„Der Absatz dieser, wie aller umliegenden Quellen ist Kieselsinter, der frische Absatz ist gelatineartig; allmählich erhärtet er zu einer zerreiblichen, sandig sich anfühlenden Masse. — — —

„Zu beiden Seiten des beschriebenen Sprudelgebietes flussauf- und flussabwärts liegen, im Gebüsche der Uferbänke verborgen, zahlreiche kochende Schlammtümpel, denen man sich nur mit der grössten Vorsicht nähern kann, da der erweichte, von keiner Sinterdecke geschützte Boden nachgiebt. — — — —"

Sieben Meilen nordöstlich vom Taupo-See liegen nahe zusammen einige kleinere Seen, welche durch landschaftliche Schönheit ausgezeichnet sind und von denen der Rotorua, der westlichste, einer der grössten ist. Am Südende des Rotorua befindet sich ein weiteres Gebiet heisser Quellen, von welchen sieben bis acht periodische Wassereruptionen haben, also geysirähnliche Springquellen sind. Die Anzahl der kleineren Sprudel, der kochenden Schlammkessel, der Schlammvulcane und Solfataren, die auf diesem Gebiete liegen, muss nach Hunderten gezählt werden.

Wenden wir uns nun zum Schluss zum berühmten Rotomahana, dessen Wunder alles andere weit übertreffen, was Neuseeland an heissen Quellen bietet.

Der Rotomahana, d. h. der warme See, liegt im Südosten des Seedistrictes und zwar südlich vom Tarawera-See. Er ist ungefähr 1400 m lang und etwa 470 m breit. Ausser einer grossen Anzahl kleinerer heisser Quellen, welche an unzähligen Punkten zu Tage treten, liegen um den Rotomahana etwa 25 grössere Quellenbassins, deren heisses Wasser in den See strömt, wodurch dasselbe so erwärmt wird, dass es am Nordende als ein Bach von 26° C. abströmt, während am Südende Bäche von 9 bis 10° C. einströmen.

Das Hauptinteresse knüpft sich an das östliche Ufer des Sees. Da liegen die bedeutendsten Quellen, unter welchen Te Tarata am nordöstlichen Ende des Sees obenan steht. Dieser gewaltige kochende Sprudel mit seinen weit in den See hineinragenden Sinterterrassen ist das wunderbarste unter den Wundern des Rotomahana. Etwa 27 m hoch über dem See, an einem farnbewachsenen Hügelabhang, an welchem an zahlreichen durch Eisenoxyd gerötheten Stellen heisse Wasserdämpfe entweichen, liegt in einem kraterförmigen, nach der Seeseite offenen Kessel mit steilen, 10 bis 13 m hohen Wänden das grosse Hauptbassin des Sprudels. Es ist 27 m lang und 20 m breit und bis zum Rande gefüllt mit vollkommen klarem Wasser, welches in dem schneeweiss übersinterten Becken wunderschön blau erscheint. Am Rande des Bassins fand Hochstetter die Temperatur von 84° C., in der Mitte aber, wo das Wasser fortwährend mehrere Fuss hoch aufwallt, wird es die Siedehitze haben. Ungeheure Dampfwolken wirbeln auf und verhindern meist den Ueberblick der ganzen Wasserfläche.

Der Eingeborene, welcher Hochstetter als Führer diente, versicherte, dass bisweilen plötzlich die ganze Wassermasse mit ungeheurer Gewalt ausgeworfen werde und dass man alsdann 10 m tief in das leere Bassin blicken könne, welches sich aber schnell wieder fülle. Nur bei heftigem, lange anhaltendem Ostwinde sollen solche Eruptionen vorkommen.

Das Wasser reagirt neutral, hat einen schwach salzigen Geschmack und besitzt in hohem Grade die Eigenschaft, zu übersintern und zu incrustiren. Der Absatz ist, wie bei den isländischen Quellen, Kieselsinter oder Kieseltuff und der Abfluss des Sprudels hat am Abhange des Hügels ein System von Kieselsinter-Terrassen gebildet, welche weiss, wie aus Marmor gehauen, einen Anblick gewähren, den keine Beschreibung und kein Bild wiederzugeben vermag. Die unteren Terrassen schliessen im schönsten Blau schimmernde Wasserbecken ein, welche eine Reihe natürlicher Wasserbassins bilden, wie sie der raffinirteste Luxus nicht prächtiger und bequemer hätte herstellen können. Einige der Becken sind so gross, dass man bequem darin herumschwimmen kann.

Mit Uebergehung aller übrigen wenden wir uns schliesslich noch zu dem grossen, am Westufer des Sees gelegenen Terrassensprudel Otukapuarangi. Die Stufen reichen bis zum See, die Terrassen sind jedoch nicht so grossartig wie die Tetarata-Terrassen, dagegen zierlicher und feiner in ihrer Bildung. Die Plattform liegt 20 m über dem See

und ist 100 Schritte lang und breit. Sie trägt zierliche 1 bis 2 m tiefe Bassins mit Wasser von 30 bis 40° C. Im Hintergrunde aber liegt in einem Krater das grosse Quellbecken, 13 bis 17 m im Durchmesser und wahrscheinlich sehr tief. Es ist ein ruhiger, blau scheinender, nur dampfender, aber nicht aufkochender Wasserspiegel. Das Wasser hat eine Temperatur von 80° C. und die aufsteigenden Dämpfe riechen nach schwefliger Säure. Rings um das Bassin bemerkt man gelben Schwefelanflug und an den Seitenwänden des Wasserkraters hat sich Schwefel stellenweise in dicken Krusten abgelagert.

Am grossartigsten jedoch zeigt sich die Solfatarenthätigkeit am nördlichen Fusse der Terrassen in der Solfatare Ta Whakataratara. Er ist ein kraterähnlicher, gegen den See offener Kessel voll heissen, gelblich weissen und schlammigen Wassers, welches stark sauer reagirt, ein wahrer Schwefelsee, von dem sich ein heisser, schlammiger Strom in den See ergiesst. In den Klüften der den Schwefelsee einschliessenden Wände findet man prachtvolle Schwefelkrystalle abgesetzt.

Die Geysirgebiete in Nordamerika. Nachdem schon vor- 208
her einzelne Forscher in das Quellengebiet des Yellowstone- und Madison-River, Nebenflüsse des Missouri, eingedrungen waren und sich überzeugt hatten, dass hier in der That ein ausgedehntes Geysirgebiet vorhanden sei, wurde diese Gegend im Sommer 1871 durch eine vom Staate ausgerüstete Expedition untersucht, welche unter der Leitung des Regierungs-Geologen Hayden stand.

Die jede Erwartung übertreffende Grossartigkeit dieses Schauplatzes vulcanischer Thätigkeit, von welcher Hayden in seinem „*Preliminary Report of the U. S. geological Survey of Montana*“ Nachricht giebt, veranlasste die Regierung der Vereinigten Staaten, dieses Geysirgebiet als Staatsdomaine zu erklären und einen Nationalpark aus demselben zu schaffen.

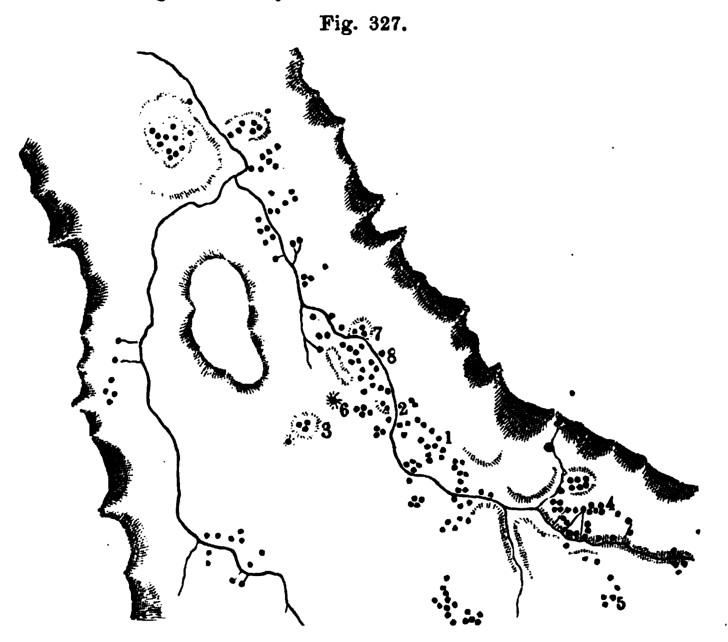
Diese Staatsdomaine erstreckt sich vom 44. bis zum 45. Grad nördlicher Breite und vom 110. bis zum 111. Grad westlicher Länge von Greenwich. Die Flüsse und Bäche dieses durchgängig über 2000 m hohen Terrains bilden zahlreiche, zum Theil grossartige Wasserfälle. Mächtige Gebirgszüge umgürten die Thäler von allen Seiten und erheben ihre, das ganze Jahr mit Schnee bedeckten Gipfel bis zu einer Höhe von 3000 bis 4000 m. Die Winter sind streng und kein Monat des Jahres ist ganz frei von Frost.

Am grossartigsten tritt das Geysirphänomen im oberen Theile des Fire-Hole-River auf, welcher im Wesentlichen von Süd nach Nord strömend einen Hauptarm des Madison-River bildet. Wie zahlreich die heissen Quellen dieser Gegend sind, welche sich auf eine Länge von drei englischen Meilen zu beiden Seiten des Flusses hinziehen, kann man aus dem Kärtchen, Fig. 327 (a. f. S.), ersehen. Die erste Geysireruption, welche Hayden hier beobachtete, war die des grossen Geysirs, Fig. 328 (S. 627)

(Nr. 1 d. K.). Ein dumpfes Donnern ertönte im Erdinnern, welchem ein anscheinend 2 m starker Wasserstrahl bis zu einer Höhe von 70 m aufsteigend folgte, während der Dampf sich zu einer Höhe von mehr als 300 m erhob. Nach der 20 Minuten andauernden Eruption sank das Wasser um mehrere Zoll im Becken und seine Temperatur fiel auf 65° C. Die krystallhellen Fluthen strömen aus zwei Oeffnungen hervor, von denen die kleinere 1,3 m lang und 80 cm breit dem Hauptstrahl als Ausgang zu dienen scheint. Eine zweite Eruption wurde 32 Stunden nach der ersten beobachtet.

Ein mittelgrosser Geysir, mit drei kleineren zu gleicher Zeit spielend, liegt östlich vom grossen Geysir.

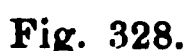
Fig. 327.



Der Krater des am linken Ufer des Flusses liegenden „Riesen“ gleicht, ähnlich wie bei dem in Fig. 329 (S. 628) abgebildeten Geysir, einem abgebrochenen Horn; er spielte während Hayden's Anwesenheit $1^1/_3$ Stunden lang, einen Wasserstrahl 47 m hoch emporschleudernd. Alle übrigen an Höhe des Wasserstrahles übertreffend ist ein Geysir, welcher den Namen der Riesin (Giantesse, Nr. 4 d. K.) erhielt. In einem 8 m langen und 6 m breiten Schlunde mit gezackten Rändern und rauhen, durch kieselige Niederschläge gebildeten Wänden konnte man bis zu einer Tiefe von 33 m hinabsehen, ohne Wasser zu erspähen, aber tief unten gurgelte und kochte es. Plötzlich begann das Wasser zu steigen und mächtige Dampfwolken hervorzustossen. In einer Tiefe von 13 m unter dem Rande schien sich die kochende und wogende Wassermasse

etwas zu beruhigen, indem nur einzelne Wasserstrahlen bis zur Mündung emporgeschleudert wurden; nun aber stieg die Wassermasse 20 m über den Beckenrand empor und den Gipfel dieser Wasserpyramide durchbrachen fünf bis sechs Wassersäulen von 17 bis 40 cm Durchmesser, bis zur staunenerregenden Höhe von 83 m aufsteigend. Diese grossartige Eruption dauerte 20 Minuten.

100 m von der Riesin entfernt befindet sich ein 1 m hoher symmetrischer Hügel, seiner Gestalt wegen der Bienenstock genannt, welcher bei einem 18 Minuten lang dauernden Ausbruch einen 70 m hohen Wasserstrahl emporschleuderte.


Fig. 328.



Als den dankbarsten Geysir der ganzen Region bezeichnet Hayden denjenigen, welchem er den Namen des alten Getreuen [Old Faithful, Fig. 329 (a. f. S.), Nr. 5 d. K.] beilegt, aus welchem in Zwischenräumen von ungefähr einer Stunde 15 Minuten lang eine 2 m starke Wassersäule 33 bis 50 m hoch aufsteigt.

Unter den zahlreichen Geysirn am oberen Fire-Hole nennt Hayden noch den Fächergeysir (Nr. 7 d. K.), den Riverside-Geysir (Nr. 8 d. K.), den Pyramidengeysir (Nr. 6 d. K.) u. s. w. Ausser den Geysirn kommen hier auch noch aus kieseligen Niederschlägen gebildete Becken vor, welche mit einem vorstehenden Rande versehen, gewöhnlich den Gipfel eines Hügels krönen und mit klarem, heissem, in der Mitte leicht aufwallendem Wasser gefüllt sind, wie dies z. B. bei der Punschbowle, Fig. 330 (S. 629) (Nr. 3 d. K.), der Fall ist.

Ungefähr drei engl. Meilen unterhalb des eben besprochenen Quellengebietes findet sich eine Quellengruppe, welche Hayden als die siebente des unteren Geysirgebietes bezeichnet; ihre Quellen sind weniger durch die Zahl, als durch ihre Grösse ausgezeichnet. Eine derselben, deren Becken 50 m im Durchmesser hat, breitet sich auf einem 17 m hohen Hügel von Kieselerde aus. Das klare Wasser des Beckens wallt im Centrum auf und rieselt gleichförmig nach allen Seiten über 2 bis

8 cm hohe Stufen herab. Am Rande des Beckens betrug die Temperatur des Wassers 82° C. Ein zweites Becken von 83 m Durchmesser wird von 7 bis 10 m hohen Wällen umrandet. Ungeheure Dampfwolken entsteigen dem Becken und ein ansehnlicher Strom führt aus demselben dem Fire-Hole-River einen neuen Zuwachs entgegen. Am oberen Ende dieser Gruppe treten am Ostufer noch drei, am Westufer noch zwei ungeheure kochende Quellen auf.

Das untere Geysirgebiet besteht aus sieben Hauptgruppen, welche theils am East Fork des Madison-River, theils am Fire-Hole-River und an Zuflüssen desselben liegen.

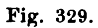


Fig. 329.



Jede dieser Gruppen besteht aus Hunderten von heissen Quellen verschiedener Art, unter denen sich auch zahlreiche Geysir befinden, welche aber die Grossartigkeit der eben besprochenen nicht erreichen. In der ersten Gruppe, welche am East Fork liegt, wurde die Temperatur von 67 Quellen gemessen. Alle diejenigen Quellen, deren Temperatur über 82° C. beträgt, weisen an den inneren Beckenseiten einen reizenden Perlenschmuck von Kieselerde auf, während diejenigen von 66° und darunter eine starke Eisenablagerung zeigen.

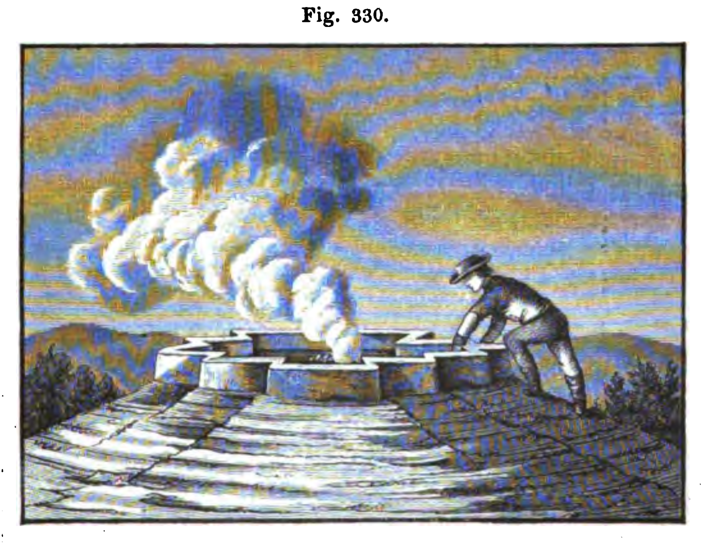
Einen eigenthümlichen Anblick gewährt eine solche Gruppe zur Zeit des Sonnenaufganges, wenn der Dampf aus Hunderten von Schloten aufwirbelt und man einen Fabrikort vor sich zu sehen glaubt.

Die zweite Gruppe enthält ausser zahlreichen kleineren Geysirn mit 0,7 bis 3,3 m hohem Strahl auch einige bedeutendere, unter denen besonders der Fountain-Geysir zu nennen ist. Sein Becken hat 50 m Durchmesser und in seiner Mitte befindet sich ein 8 m weiter Krater, aus welchem eine Wassersäule 10 bis 20 m hoch aufsteigt. Südlich von demselben befindet sich ein Schlammkrater, dessen Becken 20 m lang und 13 m breit ist. Aus dem fein zerriebenen Schlamme steigen fortwährend Gasblasen auf, welche mit einem dumpfen Klange platzen.

In der dritten Gruppe, welche auch einige Schwefelquellen enthält, ist besonders Fissure-Spring merkwürdig, welcher aus einem 33 m langen und 1,3 bis 3,3 m breiten Spalt einen ansehnlichen Wasserstrom ergiesst.

Auch in der vierten Gruppe kommen 0,2 bis 3,3 m hoch springende Geysir vor. In der fünften Gruppe, deren Kärtchen in Fig. 331 (a. f. S.) in gleichem Maassstab gezeichnet ist, wie Fig. 327, wurde die Temperatur von 95 Quellen gemessen und im Mittel gleich 82° C. (höchste 91°, niedrigste 44°) gefunden. Ausser zahlreichen mit klarem Wasser gefüllten Quellbecken, wie der nach ihrer Beckenform genannten Muschelquelle, der Badequelle u. s. w., finden sich hier auch interessante

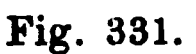
Fig. 330.

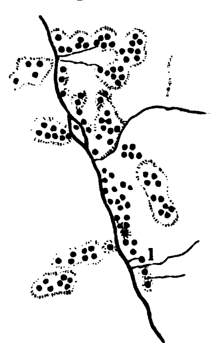


Schlammquellen, welche sich am Boden trichterförmiger Krater von 7 m Durchmesser befinden und welche den Dampf mit dumpfem puffenden Geräusch entweichen lassen. Die sechste Gruppe befindet sich an einem westlichen Zuflusse des Fire-Hole-River und von der siebenten war bereits oben die Rede.

Wenden wir uns jetzt zum Yellowstone-River selbst. In seinem oberen Laufe bildet er einen vielbuchtigen See, dessen grösste Länge von Nord nach Süd ungefähr 37 km beträgt und dessen Spiegel 2240 m über dem Meere liegt. Rings um denselben herum findet man, eigentliche Geysir ausgenommen, heisse Quellen aller Art, namentlich auch mächtige Schlammkrater. Am westlichen Seeufer zieht sich ein Gürtel von 200 bis 300 Quellen der mannigfaltigsten Grösse und Temperatur in einer Länge von beinahe einer deutschen Meile hin, von denen einige einen Durchmesser von 15 m und eine Tiefe von 12 bis 15 m haben. Weitere Schwefel- und Schlammquellen liegen an beiden Ufern des aus

dem See austretenden *Yellowstone-River* zerstreut umher und erreichen zum Theil an den Hügelböschungen Höhen von 15 bis 30 m über dem Spiegel des Flusses. In dem Becken des „*Riesenkessels*“, welches oben 12 m im Durchmesser hat, ist der Schlamm in der Tiefe unter beständigem heftigen Dröhnen in fortwährendem Aufwallen begriffen, während ein benachbarter Schlamm-Geysir acht Eruptionen von durchschnittlich 6 m Höhe in 26 Stunden zeigt.

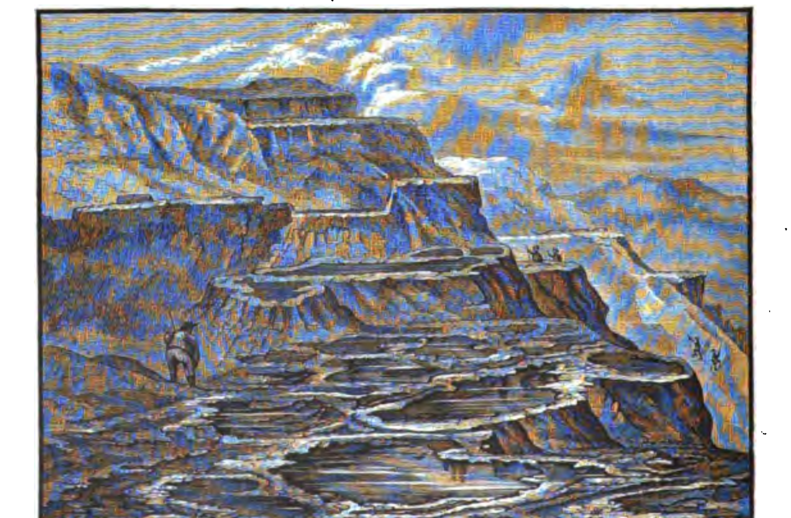

Fig. 331.



Eine weitere Gruppe heisser Schwefel- und Schlammquellen findet sich in einem westlichen Seitenthal (Crater-Hills) des Yellowstone-River, ungefähr 18 km unterhalb seines Ausflusses aus dem See.

Unterhalb dieser Stelle bildet der Fluss einige grossartige Wasserfälle und nimmt 60 bis 67 km unterhalb derselben an der Nordgrenze der ganzen Domäne, ungefähr 570 m unterhalb des Seespiegels, auf seinem linken Ufer den

Fig. 332.



Gardiner-River auf, in dessen Thale sich eine ausgedehnte Gruppe heisser Quellen findet, welche sich vor allen übrigen dadurch unterscheidet, dass ihre Quellabsätze nicht aus Kieselsinter, sondern aus *Kalksinter* bestehen. Ungefähr $2^1/_2$ km oberhalb seiner Mündung befinden sich ganz

nahe am Gardiner-River vier heisse Quellen in Becken von 2 bis 3 m Durchmesser und einer Temperatur von 38 bis 49° C., um welche sich bereits eine Anzahl Kranker versammelt hatte, welche der Heilkraft des hervorsprudelnden Wassers grosses Lob spendeten.

Am Abhange des westlichen Flussufers, etwa $1^1/_2$ km von demselben entfernt, erhebt sich ein 60 m hoher, aus kalkhaltigen, blendend weissen Niederschlägen bestehender Hügel, dessen steile Seiten mit einer Reihe halbkreisförmiger Becken geschmückt sind, Fig. 332, deren Weite bis zu $2^1/_2$ m und deren Tiefe bis zu 0,6 m beträgt. Den Gipfel des Hügels bildet eine flache, gegen 180 m im Durchmesser haltende Terrasse, welche mehr oder weniger von Quellenbecken bedeckt ist, deren klares, heisses Wasser, am Bergabhange von einem Becken zum anderen herabrinnend, sich mehr und mehr abkühlt, so dass die Badenden in verschiedenen Becken jede beliebige Temperatur finden können.

Die Beschreibung der Quellen des weissen Berges erinnert vielfach an die im vorigen Paragraphen besprochenen Tetarata-Quellen. Ohne weiter auf eine Schilderung der übrigen, theils höchst interessanten Thermen dieses Gebietes einzugehen, muss nur noch bemerkt werden, dass dasselbe vielfach die Spuren einer früheren bedeutenderen Geysirthätigkeit trägt.

Temperatur der Seen und Flüsse. In den Seen erleiden die oberen Wasserschichten ziemlich bedeutende Temperaturveränderungen; sie können im Winter zufrieren, während sie im Sommer oft eine Temperatur von 20 bis 25° erreichen; in der Tiefe findet dies jedoch nicht statt. Saussure hat in dieser Beziehung die meisten Seen der Schweiz untersucht und die merkwürdige Thatsache bestätigt, dass in grossen Tiefen die Temperatur der Seen ungefähr 5° C. beträgt. 209

Im Sommer wirken zwei Ursachen, um die Temperatur der oberen Wasserschichten zu erhöhen; die warme Luft streicht über den Wasserspiegel hin, und die von der Sonne kommenden Wärmestrahlen werden, indem sie mehr oder weniger tief in das Wasser dringen, von demselben absorbirt. Die erwärmten Schichten mischen sich durch die Wellenbewegung, sie mischen sich aber nicht mit den Gewässern der Tiefe, weil sie wegen ihres geringeren specifischen Gewichtes oben schwimmen und weil selbst die heftigste Wellenbewegung doch nur auf eine geringe Tiefe merklich ist. Im Sommer und im Herbst muss also die Temperatur des Wassers in der Tiefe niedriger sein als an der Oberfläche.

Im Winter erkalten die oberen Wasserschichten, weil sie mit der kalten Luft in Berührung sind und weil sie namentlich in der Nacht ihre Wärme ausstrahlen. Die erkaltende Schicht wird dichter, sie sinkt nieder und mischt sich mit dem wärmeren Wasser der tieferen Schichten; sobald sie sinkt, wird sie durch eine andere ersetzt, welche ebenfalls erkaltet und niedersinkt u. s. w. Wenn das Wasser kein Dichtigkeitsmaximum hätte, so würden auch im Winter die tiefsten Schichten die

kältesten sein, die Oberfläche könnte also nicht eher die Temperatur von 0^0 annehmen, als bis die ganze Wassermasse bis auf den Boden eben so weit erkaltet wäre, und die Folge davon würde sein, dass die Seen bis auf den Grund zufrieren müssten. Weil das Wasser aber ein Dichtigkeitsmaximum hat, ist der Hergang ein anderer. Sobald die oberen Wasserschichten die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums erreicht haben, sinken sie nieder, andere Wassertheilchen treten an ihre Stelle, und so geht es fort, bis die ganze Wassermasse diese Temperatur hat. Wenn nun, sobald dies der Fall ist, die Kälte noch fortdauert, so wird die obere Wasserschicht durch ferneres Erkalten leichter; sie wird also fort und fort erkalten können, ohne niederzusinken; nun nimmt die Temperatur also mit der Tiefe zu bis zu 4^0 C. Aus diesem Grunde findet auch die Eisbildung auf der Oberfläche statt, die Dicke der Eisschicht kann nur sehr langsam zunehmen und nie eine bedeutende Stärke erlangen.

Diese Betrachtung zeigt uns auch, dass ruhige und sehr tiefe Gewässer nur dann zufrieren können, wenn eine strenge Kälte längere Zeit anhält; denn die ganze Wassermasse, welche während des Sommers über 4^0 erwärmt worden ist, muss nach und nach an die Oberfläche steigen, um da ihren Wärmeüberschuss abzugeben; und wenn die wärmere Wassermasse eine Tiefe von 100 bis 200 m hat, so ist klar, dass unter sonst gleichen Umständen eine weit längere Zeit nöthig ist, damit alle wärmeren Wassertheilchen der Reihe nach auf die Oberfläche steigen, um da bis zu 4^0 zu erkalten, als wenn die Tiefe nur 9 bis 10 m betrüge. An den Ufern und über Bänken von bedeutender Ausdehnung, überhaupt an allen Stellen von geringerer Tiefe kann sich deshalb auch schon eine Eisdecke bilden und eine bedeutende Dicke erlangen, während an den tieferen Stellen die Oberfläche des Wassers vom Eise frei bleibt.

Es ist nun die Frage, bis zu welcher Tiefe die Wärme des Sommers eindringen kann. Bis jetzt hat man darüber nur sehr unvollständige Angaben. Nehmen wir z. B. an, die Sommerwärme wäre nur bis zu einer Tiefe von 150 m merklich, so müsste ein 3000 m tiefer See eben so leicht zufrieren wie ein anderer, welcher nur 150 m tief ist; denn bei dem ersteren hat ja alles Wasser, welches mehr als 150 m unter dem Spiegel sich befindet, das ganze Jahr hindurch die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums; es kann also auf die Erscheinungen der oberen Wasserschichten in keiner Weise wirken.

Wenn vor dem Gefrieren einmal die ganze Wassermasse eines Sees die Temperatur von 4^0 haben muss, so muss dasselbe nach dem Aufthauen ebenfalls stattfinden, bevor die Temperatur der oberen Wasserschichten über die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums steigen kann.

In den Flüssen ist natürlich wegen der beständigen Bewegung, welche die Wasserschichten verschiedener Temperatur fortwährend mischt, die Vertheilung der Wärme weniger regelmässig als in den Landseen, und es wird das an der Oberfläche unter den Gefrierpunkt abgekühlte Wasser vielfach bis auf den Grund hinabgeführt werden. Die Eisbildung

wird aber natürlich dort am meisten begünstigt, wo rauhe Oberflächen vorhanden sind, an denen das Eis festfriert, und verhindert wird, von der Strömung hinweggeführt zu werden, so z. B. namentlich an den Ufern und auf dem Grunde des Flusses. Wo letzteres der Fall ist, entsteht das sogenannte Grundeis; wenn das am Boden gebildete Eis aufsteigt, so hebt es Steine und sonstige Gegenstände vom Boden mit in die Höhe; im Rheine werden oft die Ankerketten der Schiffbrücken durch das Grundeis in die Höhe gebracht.

Eine andere Erklärung des Grundeises hat Arago gegeben; seine Ansicht ist die, dass das Wasser oft unter den Gefrierpunkt erkaltet, ohne fest zu werden, dass aber die so stark erkalteten Wassertheilchen sogleich erstarren, wenn sie, durch die Strömung niedergezogen, mit den festen Körpern auf dem Boden in Berührung kommen.

Das in dem freien Wasser selbst gebildete und von dem Ufer und dem Grunde losgerissene Eis schwimmt auf der Oberfläche stromabwärts und bildet Eisschollen, welche, zuerst ganz klein, bald eine bedeutende Grösse erlangen.

Temperatur der Meeresoberfläche. Auf allen von Schiffen 210 befahrenen Gegenden, auf den Aequatorialmeeren sowohl wie auf den Polarmeeren und den Meeren der gemässigten Zone sind zahlreiche Beobachtungen über die Temperatur der Luft, der Meeresoberfläche und der Meerestiefen angestellt worden, welche viele für die Wissenschaft höchst wichtige Resultate geliefert haben.

Ueber dem Meere, in grossen Entfernungen von den Küsten, sind die täglichen Schwankungen der Lufttemperatur weit geringer als auf dem Lande. Auf dem Aequatorialmeere z. B. beträgt die Differenz des Maximums und des Minimums der Temperatur eines Tages höchstens 1 bis 2°, während sie auf dem Lande 5 bis 6° beträgt; in der gemässigten Zone, zwischen dem 25. und 50. Breitengrade, ist dieser Unterschied nur 2 bis 3°, während er auf dem Lande weit grösser ist.

Das Minimum der Temperatur findet auch auf dem Meere kurz vor Sonnenaufgang statt, die Zeit des Maximums soll aber nach einigen Beobachtern dem Mittage näher liegen als auf den Continenten.

Vergleicht man die Temperatur der Luft, welche auf den Meeren ruht, mit der der oberen Wasserschichten, so ergeben sich folgende Resultate.

In den Tropen ist in der heissesten Tageszeit die Luft wärmer als das Wasser; wenn man aber die Temperatur der Luft und des Wassers von vier zu vier Stunden bestimmt, wie es der Capitän Duperrey gethan hat, so ergiebt sich, dass im Durchschnitt die Temperatur der Luft niedriger ist als die des Wassers. Unter 1850 Beobachtungen, welche er gemacht hat, fand er 1371 mal das Meer und nur 479 mal die Luft wärmer.

In höheren Breiten, vom 25. bis zum 50. Grade, ist die Luft nur selten, in den Polargegenden fast nie wärmer als die Oberfläche des Meeres.

Nach einer Zusammenstellung von Kämtz ist die Temperatur der Meeresoberfläche für verschiedene Breiten im Durchschnitt die folgende:

Atlantischer Ocean.

Nördliche Hemisphäre				Südliche Hemisphäre			
Breite	Temp. C.	Breite	Temp. C.	Breite	Temp. C.	Breite	Temp. C.
0°	25,9	42°	15,2	0°	25,9	42°	11,9
6	27,4	48	14,0	6	25,9	48	10,7
12	25,5	54	10,5	12	25,2	51	5,3
18	23,3	60	9,0	18	24,1	60	— 1,7
24	22,4	66	— 3,6	24	24,2	63	0,0
30	21,5	78	— 1,4	30	20,2	66	— 1,7
36	19,0	81	— 3,2	36	17,6		

Grosser Ocean.

Nördliche Hemisphäre				Südliche Hemisphäre			
Breite	Temp. C.	Breite	Temp. C.	Breite	Temp. C.	Breite	Temp. C.
0°	27,6	42°	13,4	0°	27,6	42°	12,5
6	27,7	48	11,9	6	27,8	48	7,6
12	27,0	54	4,4	12	26,6	54	— 1,7
18	25,7	60	4,3	18	26,6	63	— 1,0
24	23,0	63	2,6	24	23,6		
30	21,7	69	0,55	30	19,6		
36	17,5			36	14,0		

Indischer Ocean.

Südliche Breite	Temperatur C.	Südliche Breite	Temperatur C.	Südliche Breite	Temperatur C.
0°	27,1	24	22,6	48	6,6
6	26,5	30	21,05	54	— 0,8
12	25,6	36	18,2	60	— 0,8
18	25,0	42	12,3	66	— 1,7

In neuerer Zeit sind vielfache Beobachtungen über die Temperatur der Meeresoberfläche gemacht worden. Die nachfolgenden Tafeln (Fig. 333 und 334, a. S. 636) geben die Monatsisothermen für die beiden extremen Monate Februar und August (nach Krümmel).

Meerestemperaturen über 30° C. kommen nur selten vor; so z. B. bisweilen im nördlichen Theile des Indischen Oceans, im Rothen Meere

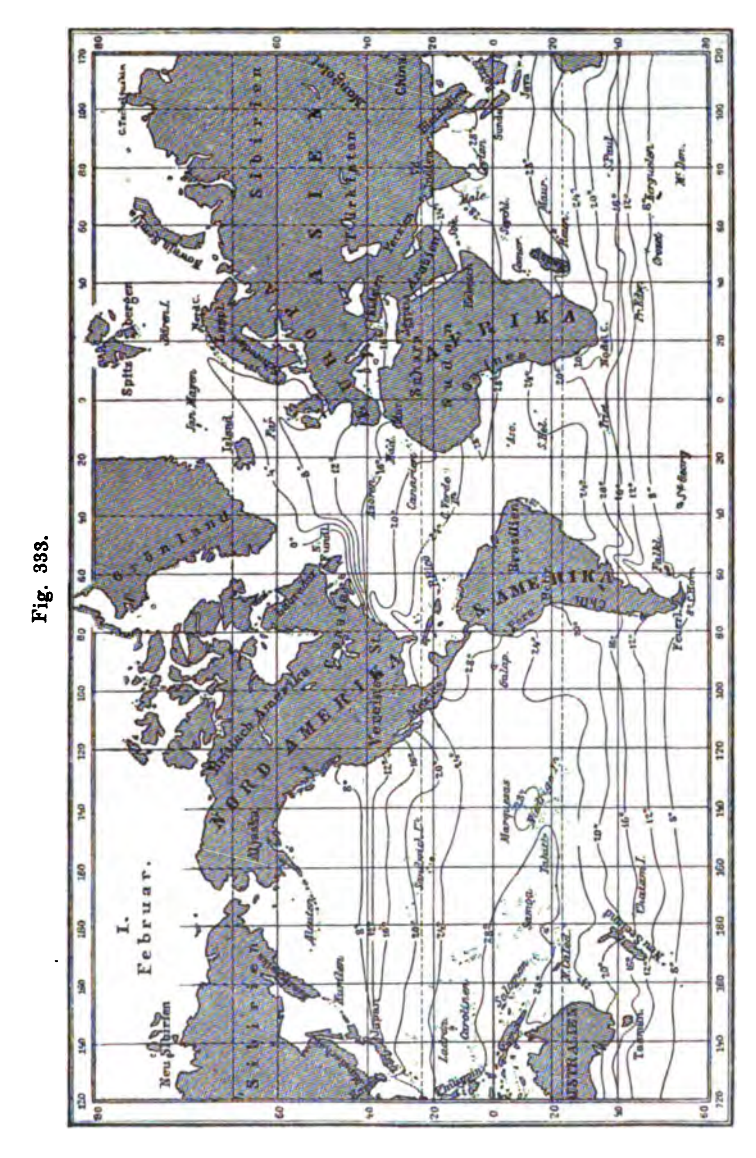


Fig. 333.

und im Persischen Meerbusen, wo der Einfluss des erhitzten Landes unverkennbar ist.

Nach Krümmel hat ungefähr $^2/_5$ der gesammten irdischen Meeresoberfläche eine mittlere Temperatur von mehr als 24°, ein Umstand, der

für die Verbreitung der Organismen und die Klimatologie von Bedeutung ist. Im Januar sind auf der nördlichen Halbkugel 36 Proc., auf der

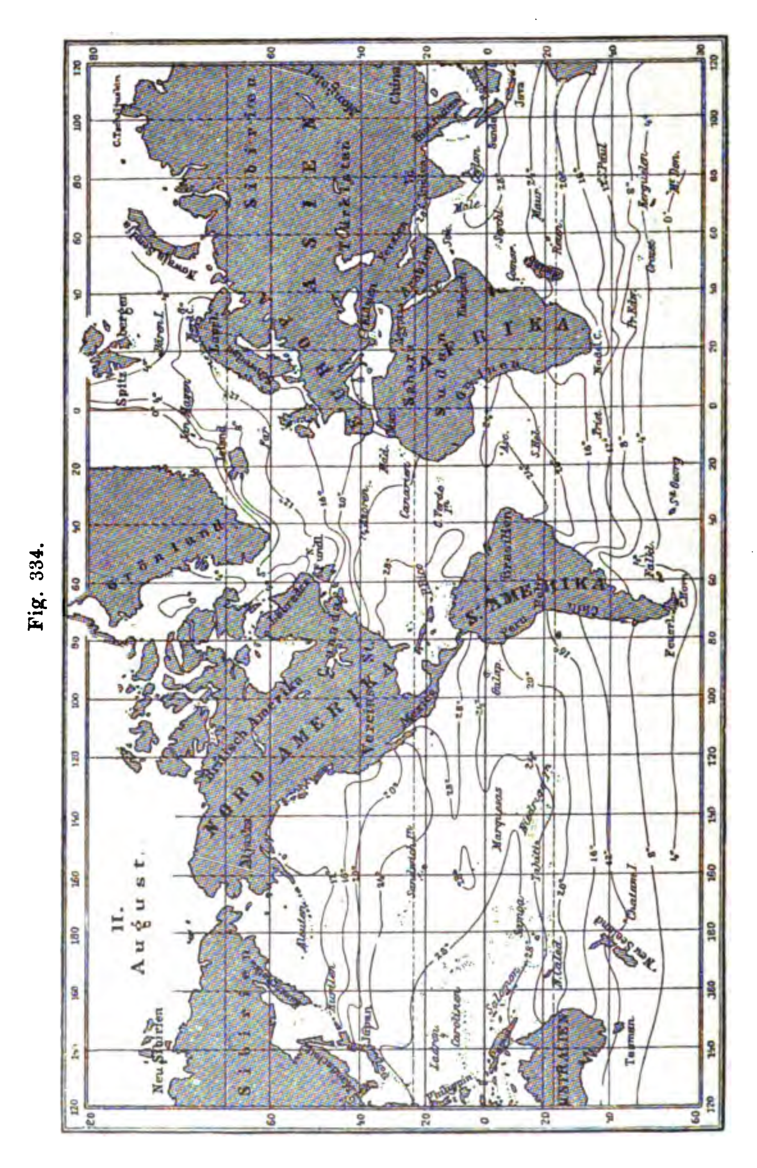


Fig. 334.

südlichen 43 Proc., und im August auf der nördlichen Halbkugel 56 Proc., auf der südlichen Halbkugel 23 Proc. über 24° C. erwärmt. Von der gesammten Meeresoberfläche kühlt etwa $^1/_3$ niemals unter 24° ab, während bei nahezu der Hälfte wenigstens einmal im Jahre eine Erwärmung über 24° eintritt.

Ueber 20⁰ wird erwärmt:

Vom Meere der	Februar	August	Ungefähres Jahresmittel
Nord-Hemisphäre . . .	47,6	65,2	56
Süd-Hemisphäre . . .	59,2	39,1	47
Ganzen Erde	53,7	51,3	52

Procente der Gesammtfläche.

Hieraus ergiebt sich, dass jederzeit etwas mehr als die Hälfte der ganzen Meeresoberfläche der Erde über 20⁰ C. erwärmt ist; niemals kühlen 43 Proc. unter 20⁰ ab, während periodisch darüber erwärmt werden 62 Proc.

Temperatur der Meerestiefen. Fast in allen Meeren nimmt 211
die Temperatur mit der Tiefe ab, nur an einigen Stellen der Polarmeere nimmt sie mit der Tiefe zu. Die Temperaturabnahme ist gewöhnlich in der Nähe der Meeresoberfläche eine rasche, und wird dann allmählich kleiner; in sehr grossen Tiefen (4000 m) beträgt die Temperatur selbst in tropischen Meeren nur wenig über 0⁰; bei 5000 m Tiefe wurden von der Challenger-Expedition im Südatlantischen Ocean, östlich von der Mündung des La Plata, Temperaturen von — 0,3 bis — 0,6⁰ C. gemessen.

Für die im Allgemeinen stetige Abnahme der Temperatur mit der Tiefe und den Umstand, dass in grossen Tiefen die Temperatur unter + 4⁰ C., ja selbst bis unter den Gefrierpunkt herabgeht, würde sich schwer eine Erklärung finden, wenn das Seewasser dieselben physikalischen Eigenschaften hätte wie gewöhnliches chemisch reines Wasser. In der That wird aber durch den Salzgehalt des Wassers sowohl sein Dichtigkeitsmaximum als auch sein Gefrierpunkt auf eine niedrigere Temperatur herabgedrückt. Karsten hat folgende Werthe für die Maximaldichte und den Gefrierpunkt des Salzwassers gefunden:

Procentgehalt der Lösung	Maximaldichte	Gefrierpunkt
0	+ 3,92⁰	0⁰
1	+ 1,46	— 0,76
2	— 1,12	— 1,52
3	— 3,80	— 2,28
3,6	— 5,47	— 2,73

Der Salzgehalt des Meerwassers ist ein sehr verschiedener und abhängig von der Grösse der Verdunstung und dem Zuflusse süssen Wassers.

Am grössten ist er im Rothen Meer (4 Proc.) und Mittelländischen Meer (3,7 bis 3,9 Proc.). Im Atlantischen Ocean beträgt er 3,5 bis 3,7; im Stillen Ocean 3,4 bis 3,7; im Schwarzen Meer 1,5 bis 1,7; in der Nordsee 3,2 bis 3,3; in der Ostsee bei Alsen 1,8; im Kieler Hafen 1,6; nördlich von Rügen 0,9; in der Danziger Bucht 0,6; bei Haparanda 0,2 und bei Kronstadt noch nicht 0,1 Procent.

In einem grossen Theile der Oceane ist die Temperaturvertheilung in verschiedenen Tiefen eine sehr regelmässige. Wir haben schon gesehen, dass die Temperatur im Allgemeinen mit der Tiefe abnimmt, ausserdem ist aber zu bemerken, dass sie in einer Tiefe von 1000 m ab fast überall von genähert der gleichen Höhe, nämlich im Durchschnitt von etwa + 4° C. ist. Es scheint danach, dass die klimatischen Unterschiede in einer Tiefe von etwa 1000 m im Allgemeinen verschwinden. In kleineren und mehr abgeschlossenen Meeren finden sich indessen manche Abweichungen von dieser Regel, und grosse Unregelmässigkeiten in der verticalen Temperaturvertheilung finden sich namentlich in solchen Meeren, deren Tiefe eine nur geringe ist. In den arktischen und antarktischen Regionen hat man mehrfach eine Zunahme der Temperatur mit der Tiefe gefunden, und Weyprecht fand sogar zwischen Nowaja Semlja und Franz-Josephs-Land die mittlere Temperatur des Meerwassers zwischen Oberfläche und Grund im Winter etwas höher als im Sommer. Derartige Erscheinungen erklären sich zum Theil durch die Wirkung des Schmelzwassers der Eisregionen.

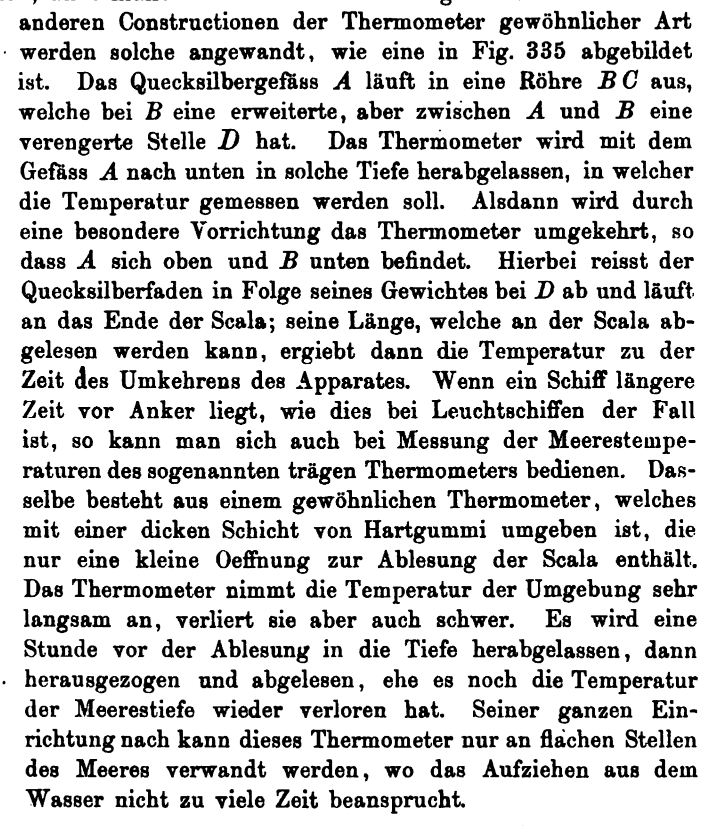
Für die Untersuchung der Meeresströmungen und ihres Einflusses auf die Klimate der Länder ist es wichtig, zu wissen, welche Wärmemengen in den verschiedenen Tiefen der Meere vorhanden sind. In früheren Zeiten sind bei Temperaturmessungen in grösseren Meerestiefen vielfach dadurch Fehler entstanden, dass man den Einfluss des starken Druckes des Wassers auf das Thermometer selbst nicht beachtete; es wird aber die Kugel des Thermometers durch äusseren Druck verkleinert, wodurch zu hohe Ablesungen entstehen.

Die einfachste Vorrichtung, diesen Druck zu compensiren, besteht darin, dass man die Quecksilberkugel mit einer zweiten Glashülle umgiebt, und den Zwischenraum theilweise mit Weingeist ausfüllt. Der Druck des Wassers wird dann die äussere Glashülle zusammendrücken, und da der darin befindliche Weingeist, der lediglich zur besseren Leitung der Temperatur dient; sich ausdehnen kann, so findet auf das innere Gefäss nur noch ein äusserst geringer Druck durch die in dem Zwischenraume vorhandene und ein wenig zusammengepresste Luft statt, welcher die Ablesungen nicht mehr beeinflussen kann.

Die Thermometer, welche man zur Messung der Tiefentemperaturen benutzt, sind entweder gewöhnliche, oder Maximum- und Minimum-Thermometer. In jedem Falle müssen aber besondere Vorsichtsmaassregeln getroffen werden, um dasjenige zu erfahren, was man wissen will, nämlich die Temperatur des Wassers in einer bestimmten Tiefe.

Bei den Maximum- und Minimum-Thermometern, welche gewöhnlich die Einrichtung der früher beschriebenen Six'schen Thermometer haben, wird dieser Zweck nur dann erreicht, wenn die Temperatur mit der Tiefe sich immer in dem gleichen Sinne ändert, oder — da eine stete Zunahme der Temperatur mit der Tiefe in der Regel nicht vorkommt — wenn sie in steter Weise abnimmt, nicht aber warme Strömungen mit kalten wechseln; andernfalls können falsche Ablesungen entstehen. Neben anderen Constructionen der Thermometer gewöhnlicher Art werden solche angewandt, wie eine in Fig. 335 abgebildet ist. Das Quecksilbergefäss A läuft in eine Röhre BC aus, welche bei B eine erweiterte, aber zwischen A und B eine verengerte Stelle D hat. Das Thermometer wird mit dem Gefäss A nach unten in solche Tiefe herabgelassen, in welcher die Temperatur gemessen werden soll. Alsdann wird durch eine besondere Vorrichtung das Thermometer umgekehrt, so dass A sich oben und B unten befindet. Hierbei reisst der Quecksilberfaden in Folge seines Gewichtes bei D ab und läuft an das Ende der Scala; seine Länge, welche an der Scala abgelesen werden kann, ergiebt dann die Temperatur zu der Zeit des Umkehrens des Apparates. Wenn ein Schiff längere Zeit vor Anker liegt, wie dies bei Leuchtschiffen der Fall ist, so kann man sich auch bei Messung der Meerestemperaturen des sogenannten trägen Thermometers bedienen. Dasselbe besteht aus einem gewöhnlichen Thermometer, welches mit einer dicken Schicht von Hartgummi umgeben ist, die nur eine kleine Oeffnung zur Ablesung der Scala enthält. Das Thermometer nimmt die Temperatur der Umgebung sehr langsam an, verliert sie aber auch schwer. Es wird eine Stunde vor der Ablesung in die Tiefe herabgelassen, dann herausgezogen und abgelesen, ehe es noch die Temperatur der Meerestiefe wieder verloren hat. Seiner ganzen Einrichtung nach kann dieses Thermometer nur an flachen Stellen des Meeres verwandt werden, wo das Aufziehen aus dem Wasser nicht zu viele Zeit beansprucht.

Fig. 335.



Das Eismeer. Bei der niedrigen Temperatur, welche in der Nähe 212
der beiden Erdpole herrscht, muss in den Meeren jener Regionen eine massenhafte Eisbildung stattfinden, die wir nun etwas näher zu betrachten haben.

In den grönländischen Meeren begegnet man ungeheuren Eismassen, welche unter dem Namen der Eisfelder bekannt sind. Sie bilden eine zusammenhängende Eismasse, welche zwar nur 1 bis 2 m über den Meeresspiegel hervorragt und ungefähr 7 m tief untergetaucht ist, aber von einer Ausdehnung, die sich vom obersten Mastkorbe eines Schiffes nicht übersehen lässt. Manchmal sind sie gegen 200 km lang und 100 km breit.

Die um Grönland so zahlreichen Eisfelder stammen offenbar aus dem Norden und haben ihren Ursprung zwischen Spitzbergen und dem Nordpol.

Durch Meeresströmungen südwärts getrieben, können solche Eisfelder dem heftigen Wogen des Meeres nicht widerstehen, sie zerbrechen in Stücke, welche 40 bis 50 m Durchmesser haben und welche entweder theilweise mit einander in Berührung bleiben, oder sich so weit von einander entfernen, dass ein Schiff zwischen ihnen hindurchfahren kann. Solche vereinzelt schwimmende Eismassen, welche auf ihrer Wanderung nach Süden mehr und mehr zertheilt werden, nennt man loses oder offenes Eis oder auch Treibeis.

Hervorragungen auf schwimmenden Eisebenen nennt man Hummocks. Sie entstehen entweder dadurch, dass ein Stück gegen das andere gepresst und in dieser Lage mit seinem Rande aufwärts gekehrt anfriert, oder dadurch, dass die Bruchstücke eines Eisstückes über eine andere Eismasse hingeschoben werden. Solche Anhäufungen erreichen manchmal eine Höhe von ungefähr 10 m.

Das Eis der Eisfelder und ihrer Trümmer ist, da es durch Gefrieren des salzhaltigen Meerwassers entstanden ist, wesentlich von dem Süsswassereis verschieden. Wenn Meerwasser friert, so scheiden sich die in ihm enthaltenen Salze grösstentheils aus und es bleibt in dem schwammigen Eise, welches entsteht, nur dasjenige Salz zurück, welches in dem zwischen den Eistheilchen eingeschlossenen Salzwasser enthalten ist. Das aus Meerwasser entstandene Eis ist weiss und undurchsichtig, es ist weicher und leichter als das Eis süsser Gewässer, so dass, wenn es auf dem bis zu seinem Gefrierpunkt erkalteten Meerwasser schwimmt, der aus dem Wasser hervorragende Theil sich zu dem untergetauchten verhält wie 1 zu 7.

Die Oberfläche der Eisfelder ist meistens mit festem durchsichtigem Süsswassereis bedeckt, dessen Ursprung sich leicht erklären lässt. Während des neun Monate lang in jenen Gewässern anhaltenden Frostes werden die Eisfelder mit einer dicken Schneeschicht bedeckt. Dieser Schnee schmilzt, wenn mit Ende Juni oder Anfang Juli Thauwetter eintritt. Das geschmolzene Schneewasser, welches grösstentheils nicht abfliessen kann, friert im nächsten Winter und verstärkt das Eisfeld an seiner oberen Fläche mit einer dicken Lage Süsswassereises, während von unten her Salzwassereis anschiesst.

Die um den Monat Juni bei Spitzbergen erscheinenden Eisfelder treiben in südwestlicher Richtung gegen Grönland hin und zwar legen sie in dieser Richtung in Monatsfrist oft einen Weg von 200 km zurück, wenngleich der Wind indess in ganz verschiedenen Richtungen blies; die Wanderung der Eisfelder ist also offenbar durch Meeresströmungen bedingt. Für die bei ihrem Vordringen nach Süden unter dem Einflusse des Wellenschlages zerstörten und in Treibeis verwandelten kommen stets neue Eisfelder von Norden her.

Oft haben kleinere Eisfelder von 50 bis 200 qkm Oberfläche eine drehende Bewegung von solcher Geschwindigkeit, dass ein Punkt des Randes einen Weg von 1 bis 2 m in der Secunde zurücklegt. Kommt ein solches Feld mit einem ruhenden oder gar mit einem in entgegengesetzter Richtung sich drehenden in Berührung, so entsteht ein furchtbarer Stoss. Das schwächere Feld wird unter heftigem Krachen zermalmt, wobei sich Eisstücke von ungeheurer Grösse so über einander schieben, dass sie 8 bis 10 m über den Wasserspiegel hervorragen. Schon manches Schiff ist dadurch zu Grunde gegangen, dass es das Unglück hatte, zwischen zwei an einander stossende Eisfelder zu gerathen.

In den grönländischen Gewässern begegnet man bisweilen auch schwimmenden Eismassen, welche sich von den Eisfeldern und ihren Trümmern dadurch unterscheiden, dass sie bei geringerem Umfange ungleich höher sind, als die Eisfelder, also auch bei weitem tiefer unter den Meeresspiegel hinabreichen. Diese, mit dem Namen von Eisbergen bezeichneten Massen bestehen nur aus durchsichtigem Süsswassereis und tragen auf ihrer Oberfläche nicht selten Steine und Grund.

Eisbergen, welche noch weit mächtiger sind, als die, welche in den grönländischen Gewässern vorkommen, begegnet man in der Baffinsbay, aus welcher sie durch die Davis-Strasse in den Atlantischen Ocean eintretend nach Süden treiben. Oft 30 m, ja selbst mit einzelnen Berggipfeln und Hörnern 50 m hoch über den Meeresspiegel hervorragend, reichen sie im Meere bis zu einer Tiefe von 150 bis 200 m, ja oft noch tiefer herab, wie sich am besten an gestrandeten Eisbergen nachweisen lässt. Couthoy fuhr im August 1827 an einem bei 180 m Meerestiefe gestrandeten Eisberge vorbei, um welchen herum die See 1/4 englische Meile weit getrübt war. Plötzlich stürzte er unter wahrhaft fürchterlichem Krachen auf die Seite. Im September 1822 sah Couthoy am östlichen Rande der Newfoundlands-Bank einen in einer Tiefe von 21 m gestrandeten Eisberg.

Fig. 336 (a. f. S.) stellt einen schwimmenden Eisberg dar, welchen Parry auf seiner ersten Reise, und Fig. 337 zeigt die wunderlichen Gestalten von Eisbergen, welche Ross etwas nördlich von der Insel Disko an der Westküste von Grönland beobachtete. Fig. 338 endlich stellt einen Eisberg dar, welcher im April 1829 südlich von Madagaskar in einer südlichen Breite von 39° 13′ gesehen worden ist. Er schien ungefähr zwei englische Meilen im Umfang zu haben und ragte 45 m über das Wasser empor, im Ganzen musste er also eine Höhe von mehr als 300 m haben.

Die Eisberge dringen von beiden Polen her viel weiter gegen den Aequator vor als das Treibeis. Wiederholt sind Eisberge mitten im Golfstrome, ja noch jenseits desselben gesehen worden. Im Juli 1818 sind selbst in den westindischen Gewässern mächtige Eisberge erschienen. Auch antarktische Eisberge gelangen öfters in niedrige Breiten, wie der

Fig. 336.



Fig. 337.

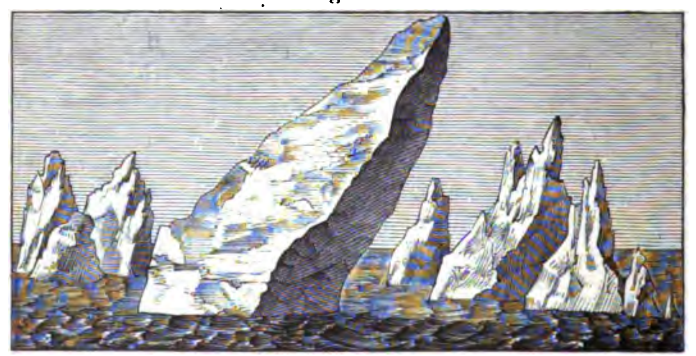
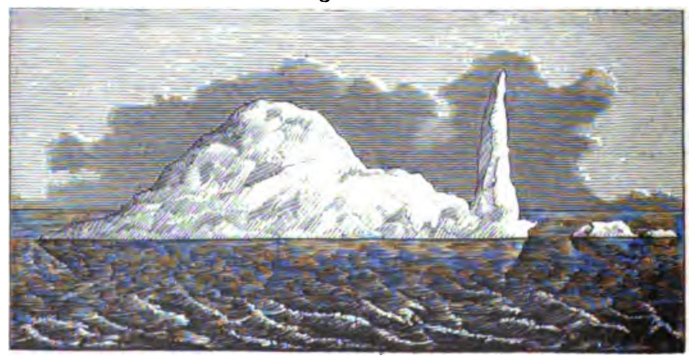


Fig. 338.



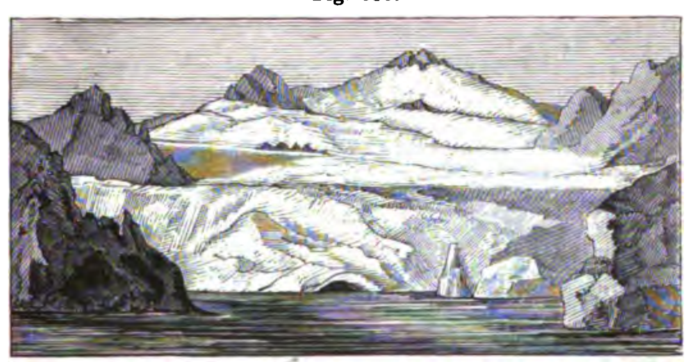
bereits besprochene und in Fig. 338 abgebildete Eisberg beweist; in der Nähe des Caps der guten Hoffnung hat man sie schon bis zum 35. Grade südlicher Breite angetroffen.

Die phantastischen Gestalten der Eisberge prangen in der herrlichsten Farbenpracht. Bei Nacht und bei Tag glänzen sie an den weissen Stellen wie Silber und an den übrigen in den lebhaftesten Regenbogenfarben.

Im Sommer, wenn das Eis durch die Wirkung der Sonnenstrahlen geschmolzen wird, strömt das Wasser in ungeheuren Wasserfällen von dem Kamme solcher Eisgebirge herab. Es ist dies ein majestätisches Schauspiel, welches die Schiffer jedoch nur aus der Ferne betrachten; denn die gigantischen, hoch in die Lüfte ragenden Eiszacken und Bogen bersten plötzlich und stürzen unter ungeheurem Krachen in das Meer herab.

Was nun den Ursprung dieser im Meere schwimmenden Eisberge betrifft, so unterliegt es keinem Zweifel, dass sie von Gletschern der Polarländer stammen, von denen sich, wenn sie bis ins Meer vorgedrun-

Fig. 339.



gen sind, mehr oder minder bedeutende Massen lostrennen und im Meere fortschwimmen.

Fig. 339 zeigt einen der mächtigen Gletscher, welche auf Spitzbergen bis zum Meeresspiegel vordringen, und welcher hier mit einer senkrechten 100 m hohen Eiswand endet, deren herrliche grüne Farbe malerisch gegen das Weiss der benachbarten Schneeberge contrastirt. Oft lösen sich grosse Eismassen von dieser Wand los, welche krachend in das Meer hinabstürzen. Capitän Phipps beobachtete eine solche, welche in einer Tiefe von 40 m Grund fasste und noch 15 m über den Meeresspiegel hervorragte.

Weit mächtiger noch als die Gletscher Spitzbergens sind diejenigen, welche die zahlreichen Einbuchtungen im nördlichen Theile der Westküste Grönlands ausfüllen. Fig. 340 (a. f. S.) stellt einen sehr schönen, sechs Seemeilen nördlich vom Vorgebirge Dudley Digges (76° 12′ nördl. Breite) gelegenen Gletscher dar, welchen Capitän Ross abgebildet hat. Die Eismasse bedeckte einen Raum von 14 qkm, sie erstreckte sich 2 km weit in das Meer hinein und hatte eine Höhe von mindestens 300 m.

Fig. 341 ist die Ansicht eines mächtigen, bis in das Meer herabsteigenden Gletschers in der Possession-Bai der gebirgigen Insel Süd-

Fig. 340.

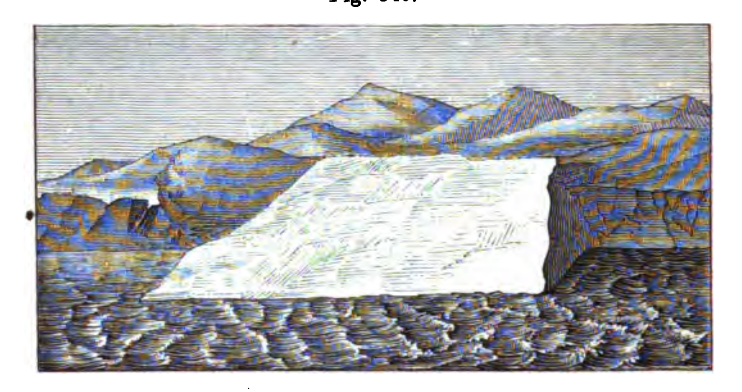
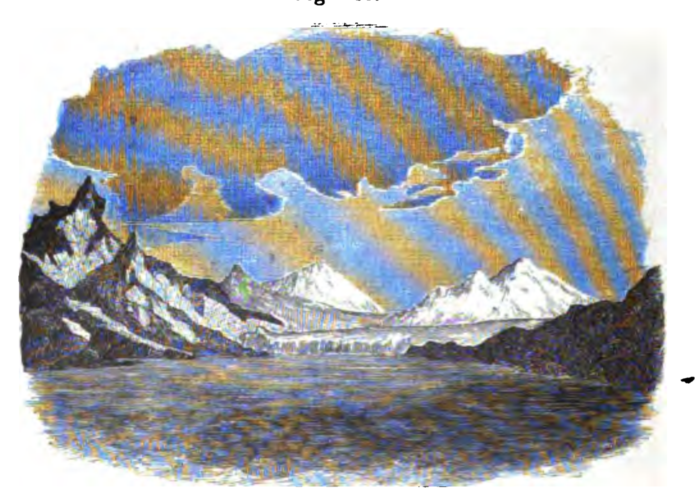


Fig. 341.



Georgien. Die Tiefe dieses Gletschers war beträchtlicher als die der gebrauchten Tiefleine (90 m).

213 **Meeresströmungen.** Bereits im §. 180 war die Rede von einer Meeresströmung, welche die warmen Gewässer des Mexicanischen Meerbusens den Westküsten Europas zuführt, und im §. 212 haben wir gesehen, dass schwimmende Eisberge durch Meeresströmungen aus den Polarmeeren oft weit gegen den Aequator hin fortgetrieben werden. Diese Meeresströmungen wollen wir nun etwas näher betrachten.

Die ungleiche Erwärmung der Meeresoberfläche in verschiedenen Breiten kann nur einen untergeordneten Einfluss auf die Circulation der

Gewässer in den grossen Oceanen ausüben, denn selbst, wenn alle Meere aus reinem Wasser beständen, würde das specifische Gewicht des Wassers in den Polarmeeren nur so wenig grösser sein als in den Aequatorialmeeren, dass dieser Unterschied allein keine bedeutende Strömung bedingen würde. In der That ist aber das Meerwasser salzhaltig (im Durchschnitt enthält das Meerwasser nahezu 3 Proc. Salz und zwar 2,7 Proc. Chlornatrium) und dieser Umstand bewirkt, dass der Unterschied der specifischen Gewichte des Meerwassers verschiedener Breiten noch geringer wird. Der Oberfläche der Aequatorialmeere wird nämlich durch Verdunstung mehr Wasser entzogen, als ihnen durch Regen und Flüsse wieder zugeführt wird, das Meerwasser wird in Folge davon salzhaltiger und der Wirkung der hohen Temperatur entgegen specifisch schwerer. In den Polarmeeren dagegen wird der Einfluss der niedrigeren Temperatur dadurch zum Theil neutralisirt, dass man hier mit weniger salzhaltigem Wasser zu thun hat, indem den Meeren weit mehr Wasser durch Regen und Flüsse zugeführt wird, als sie durch Verdunstung verlieren.

Vom Aequator bis zu den mittleren Breitegraden nimmt das specifische Gewicht des Wassers an der Oberfläche der Meere nur um 0,0005 zu; zwischen dem 18. und 32. Grade nördlicher und zwischen dem 7. und 27. Grade südlicher Breite hat das Meerwasser im Atlantischen Ocean seine grösste Dichtigkeit. Ueber diese Grenzen hinaus nimmt sein specifisches Gewicht wieder ab.

Weit kräftiger als diese geringen Unterschiede des specifischen Gewichtes wirken die Winde bewegend auf die Oberfläche der Meere ein, indem sie namentlich auf die Wellenberge einen Druck ausüben und dieselben in der Richtung der Winde forttreiben. Die furchtbaren Verheerungen, welche die Sturmfluthen anrichten, zeigen zur Genüge, mit welcher Gewalt Wind und Sturm auf die Oberfläche der Meere einzuwirken vermögen. Unter mittleren und höheren Breitegraden ist aber die Windrichtung zu wechselnd, als dass sie beständige Meeresströmungen erzeugen könnte. Nur in Gegenden, wo Jahr aus Jahr ein nahezu die gleiche Windrichtung herrscht, wie dies, wie wir bald sehen werden, in der Region der Passate der Fall ist, werden die regelmässigen Luftströmungen auch regelmässige Meeresströmungen hervorrufen können.

Auf diese Weise entstehen die auf der Karte Tab. XLIX leicht zu verfolgenden Driftströmungen, welche in der Tropenzone der grossen Oceane das Wasser auf der Oberfläche der Meere in der Richtung von Ost nach West fortführen.

Im Uebrigen dürfte es wohl schwer halten, die Meeresströme in genügender Weise theoretisch zu erklären, und zwar um so mehr, da die höchst ungleiche Vertheilung von Wasser und Land und die ungleiche Meerestiefe verschiedener Gegenden nur störend auf eine regelmässige Gestaltung der Meeresströme wirken können. Wir müssen uns fast ganz

auf eine empirische Kenntniss derselben beschränken und selbst diese ist noch sehr mangelhaft, da sich die unterseeischen Strömungen der Beobachtung fast gänzlich entziehen.

214 **Die warmen Meeresströme** sind in der Karte durch rothe Curven und ihre Richtung durch kleine Pfeile bezeichnet.

Von den Inseln des Grünen Vorgebirges geht eine Aequatorialströmung nach den Westindischen Inseln. In fast gleicher Richtung läuft eine andere aus dem Golf von Guinea gegen die Nordostküste von Südamerika und diese entlang, um in den Mexicanischen Meerbusen einzudringen. Hier wird die Temperatur der Gewässer, welche auf dem ganzen Wege von Afrika nach Amerika den nahezu scheitelrechten Strahlen der Sonne ausgesetzt und dadurch schon stark erwärmt waren, noch bis zu fast 30° C. gesteigert.

Während nun Aequatorialströmungen im Süden des Mexicanischen Meerbusens in denselben eintreten, dringt aus dem nördlichen Theil desselben zwischen Florida und Cuba ein mächtiger Strom warmen und stark salzhaltigen Wassers hervor, welchen wir bereits in §. 180 als Golfstrom kennen lernten. Zunächst folgt er in einiger Entfernung den nordamerikanischen Küsten, um sich in der Nähe von Long Island seiner Hauptrichtung nach mehr östlich zu wenden.

Zwischen Florida und Cuba beträgt seine Breite nur 50 km, beim Cap Hatteras (Ostspitze von Nord-Carolina) ist dieselbe schon auf 120 km gewachsen, um alsbald eine Breite von mehr als 1000 km zu erlangen. An seiner engsten Stelle beträgt die Tiefe des strömenden Wassers ungefähr 360, beim Cap Hatteras beträgt sie nur noch 200 m, um im weiteren Verlauf der Strömung um so mehr abzunehmen, je mehr ihre Breite zunimmt.

Bei Florida hat der Golfstrom eine Geschwindigkeit von 7 km (ungefähr eine deutsche Meile) in der Stunde; beim Cap Hatteras beträgt dieselbe nur noch 5 km, und im weiteren Verlauf des immer breiter und weniger tief werdenden Stromes nimmt seine Geschwindigkeit auf 3, 2, 1 u. s. w. Kilometer in der Stunde ab.

Die klaren Gewässer des Golfstromes zeichnen sich durch eine tief blaue Färbung, welche überhaupt den Meeren der heissen Zone und namentlich auch dem Indischen Ocean eigen ist, von dem helleren mehr grünlichen Wasser des ihn umgebenden Meerwassers aus.

Bei seinem Austritt aus dem Mexicanischen Meerbusen hat der Golfstrom eine Temperatur von nahezu 30° C., welche die des benachbarten stromfreien Meeres um 5° übertrifft. In der Nähe des Cap Hatteras beträgt seine Temperatur noch 26 bis 27° und in der Nähe von Neufundland sind seine Gewässer im Winter noch um 10 bis 15° C. wärmer als die des benachbarten stromfreien Meeres.

Der in der Nähe von Long Island sich nach Osten wendende Theil des Golfstromes spaltet sich nördlich von den Azoren in zwei Theile. Der

Hauptstrom setzt seinen Weg nordöstlich nach den Westküsten Europas fort, er bespült Irland, England und Norwegen und sendet seine Ausläufer bis in die Polarmeere. Ein anderer Theil des Golfstromes wendet sich in südlicher Richtung gegen die Westküsten von Afrika, um sich endlich mit dem bei den Cap-Verdischen Inseln entstehenden Driftstrom zu vereinigen. Ein dritter Theil wendet sich bereits in der Nähe von Neufundland nach der Davisstrasse und nimmt seine Richtung an der Westküste von Grönland entlang, wo er noch in sehr hohen Breiten nachweisbar ist. Nach Anderer Ansicht trennt sich dieser Theil des Golfstromes erst im Süden von Island ab, bespült die Küste dieser Insel und wendet sich dann theilweise nach der grönländischen Küste, um deren Südspitze er in der Davisstrasse herumfliesst.

Die dem Golfstrome entsprechende Meeresströmung des Stillen Oceans wird von den Japanern wegen ihrer tief blauen Färbung der Kuro-Shio, d. h. der dunkle Strom genannt. Er bildet eine Fortsetzung der Südsee-Driftströmung. Durch seine hohe Temperatur, welche die des angrenzenden Meeres um 5 bis 10° C. übertrifft, mildert er das Klima der Ostküste von Nipon, welches in schroffem Gegensatze zu dem rauhen Klima der von kalten Meeresströmen bespülten Westküste dieser Insel steht.

Nachdem der Kuro-Shio Japan verlassen hat, wendet er sich mehr östlich, und theilt sich nicht weit von der nordamerikanischen Küste in zwei Theile. Der grössere derselben geht als Californische Strömung in südöstlicher Richtung parallel der Küste bis in die Nähe des nördlichen Wendekreises und wendet sich dann westlich, wo er sich mit der „Passat-Drift" vereinigt. Der zweite, kleinere Theil, geht in nordwestlicher Richtung längs der Küste, wendet sich dann südwestlich nach den Aleuten und geht wieder in die Hauptströmung zurück.

Kalte Meeresströme. Ausser den im vorigen Paragraph genannten findet man auf Tab. XLIX noch andere hier nicht näher zu besprechende warme Meeresströmungen verzeichnet. Während diese das im Tropengürtel erwärmte Wasser höheren Breiten zuführen, strömt in anderen Gegenden das Wasser aus den Polarregionen dem Aequator zu. Diese kalten Meeresströmungen sind auf Tab. XLIX durch blaue Curven bezeichnet. Ein solcher Polarstrom geht an der Ostküste von Patagonien und bei den Falklandsinseln nördlich längs der südamerikanischen Küste und ist dort bis etwa 35° südlicher Breite nachweisbar. Unter dem 40. Grade südlicher Breite trifft eine aus Westen kommende Strömung die chilenische Küste, und theilt sich dort in zwei Ströme, von denen der eine unter dem Namen des Humboldt- oder Perustromes der Westküste von Südamerika nordwärts folgt, während der andere um das Cap Horn umbiegt und sich zum Theil gegen die Südspitze von Afrika wendet. 215

An den peruanischen Küsten beträgt die Temperatur des Humboldtstromes 15,5° C., während die Temperatur der stromfreien Meere

jener Gegenden 28° C. beträgt. Der Humboldtstrom übt daher auf das Klima von Chile und Peru einen wohlthätig abkühlenden Einfluss aus, während Brasilien, an dessen Gestaden ein südlicher Ausläufer der atlantischen Aequatorialströmung, die Brasilströmung, entlang fliesst, zu den heissesten Ländern der Erde gehört.

Da wo die Küste Südamerikas am weitesten nach Westen vorspringt, wendet sich der Humboldtstrom grösstentheils nach Westen und seine unter dem Einflusse der Tropensonne mehr und mehr erwärmten Gewässer gehen endlich in die allgemeine Aequatorialströmung über; ein kleiner Theil der Humboldtströmung geht jedoch längs der Küste weiter und lässt sich bis in den Golf von Panama verfolgen.

Im Atlantischen Ocean dringt ein Strom kalten, oft eisführenden Wassers, die Labradorströmung, aus der Davisstrasse und längs der Ostküste von Labrador nach Süden und drängt sich zwischen die amerikanischen Küsten und den Golfstrom ein. Dieser kalte Polarstrom ist es vorzugsweise, welcher die Temperatur der Ostküsten von Nordamerika herabdrückt.

So sehen wir denn, wie die Ostküsten von Nordamerika und die Westküsten von Südamerika durch kalte Meeresströme abgekühlt werden, während umgekehrt die Temperatur der Westküsten von Nordamerika und der Ostküsten von Südamerika durch warme Meeresströmungen über die mittlere Temperatur der entsprechenden Breitegrade erwärmt ist, wie man dies auch durch die Betrachtung der thermischen Isanomalen auf den Karten Tab. XLII bis Tab. XLIV bestätigt findet.

Die Grenze des Treibeises ist auf Tab. XLIX durch ∨∨∨∨ bezeichnet.

216 **Die Sargassomeere.** Der Golfstrom bildet mit der nördlichen Driftströmung des Atlantischen Oceans einen kolossalen Wirbel, welcher zwischen den Canarischen und den Westindischen Inseln eine viele tausend Quadratmeilen grosse, vom 17. bis zum 38. Breitegrade sich erstreckende Meeresoberfläche umkreist. In diesem Theile des Atlantischen Oceans finden sich grosse Massen schwimmenden Seetangs (*sargassum bacciferum*), einer Alge mit zolllangen, gezahnten Blättern und erbsengrossen, beerenförmigen Schwimmblasen, Fig. 342, nach welchem diese Meeresgegend den Namen des Sargassomeeres oder auch des Krautmeeres führt. Die Heimath dieses Seetanges ist wahrscheinlich die Nordküste von Südamerika, wo die Meeresströme die durch Stürme und Wellenschlag vom Boden abgerissenen Pflanzen mit forttragen, um sie endlich in dem grossen atlantischen Wirbel abzusetzen. Durch die Schwimmblase auf der Oberfläche erhalten, wachsen sie von der Wurzel unabhängig fort und bilden so die grünbraunen schwimmenden Wiesen, welche oft so dicht sind, dass sie den Lauf der Schiffe verzögern, und von denen das Schiffsbuch des Columbus zuerst bestimmte Nachrichten giebt. Früher war man wohl der Meinung, dass es in diesen Meeren

zahlreiche Untiefen gebe, auf denen der Tang wachse und von welchen er durch die Wogen abgerissen würde. Genaue Sondirungen haben aber gezeigt, dass hier das Meer mindestens 2000 m tief ist, dass also von einer Vegetation auf dem Meeresboden hier keine Rede sein kann.

Aehnliche Krautmeere finden sich auch in anderen Meeresgegenden. In der Nordhälfte des Grossen Oceans bildet die nördliche Driftströmung

Fig. 342.



mit dem Kuro-Shio einen dem eben besprochenen ganz ähnlichen kolossalen Wirbel, welcher gleichfalls ein Sargassomeer umströmt.

Weitere Anhäufungen schwimmenden Seetangs finden sich zwischen der Südspitze von Amerika und Afrika, zwischen der Südspitze von Afrika und Australien u. s. w.

Unterseeische Strömungen. Die Strömungen auf der Oberfläche der Meere bedingen nothwendiger Weise auch das Vorhandensein 217
von theils entgegengesetzten Strömungen, welche in mehr oder minder grossen Tiefen vor sich gehen, obgleich sich dieselben der Beobachtung fast ganz entziehen und sich ihre Existenz meist nur durch einzelne isolirte Erscheinungen constatiren lässt. Wenn schwimmende Eisberge mitten in den Golfstrom vordringen, wenn solche selbst noch jenseits seines rechten Ufers beobachtet werden, so können sie nur durch

kalte Meeresströme, welche unterhalb des Golfstromes nach Süden ziehen und bis in welche die schwimmenden Eismassen hinab reichen, dahin geführt worden sein.

Das **Mittelländische Meer** verliert mehr Wasser durch Ver-

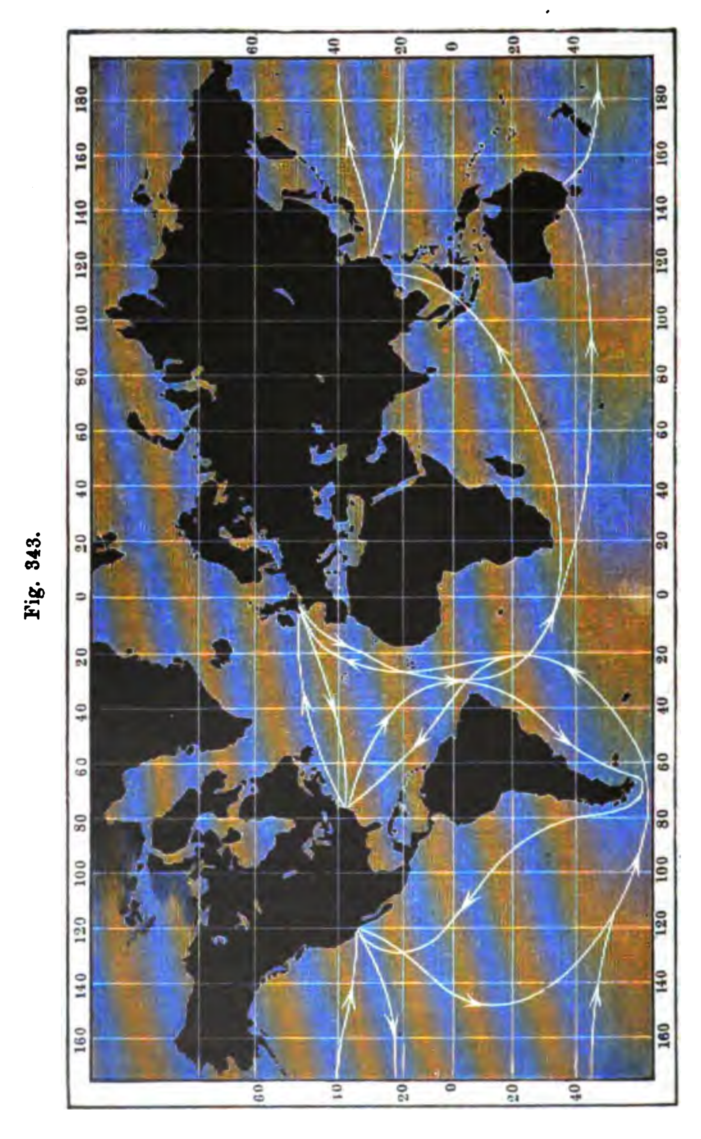


Fig. 343.

dunstung, als ihm durch Regen und Flüsse wieder zugeführt wird; sein Spiegel müsste deshalb tief unter den des Atlantischen Oceans sinken, wenn der Wasserverlust nicht durch eine Strömung gedeckt würde,

welche dem Mittelländischen Meere durch die Meerenge von Gibraltar stets frisches Wasser zuführt. Diese Strömung findet natürlich an der Oberfläche der genannten Meerenge statt. Diese aus dem Atlantischen Ocean kommende Strömung führt aber dem Mittelländischen Meere fortwährend salzhaltiges Wasser zu, sein Salzgehalt müsste also fortwährend zunehmen, wenn nicht in der Tiefe der Meerenge von Gibraltar salzhaltigeres Wasser aus dem Mittelländischen Meere in den Atlantischen Ocean zurückströmte. Das Vorhandensein einer solchen unterseeischen Strömung wird durch die Thatsache bestätigt, dass im Jahre 1712 ein zwischen Tarifa und Tanger gesunkenes holländisches Schiff einige Tage nach seinem Sinken am Ufer von Tanger, $2^1/_2$ Meilen westlich von der Stelle seines Unterganges, wieder auftauchte, obgleich die Strömung an der Oberfläche der Meerenge nach Osten gerichtet ist.

Auch im Rothen Meere, in welches kein Fluss mündet und auf welches nur selten Regen fällt, findet eine lebhafte Verdunstung statt, in Folge deren Wasser aus dem Indischen Ocean durch die Strasse von Bab el Mandeb in den oberen Schichten einströmen muss, während in der Tiefe salzhaltigeres Wasser in den Indischen Ocean zurückströmt.

Seewege. Durch gründliches Studium der in verschiedenen Oceanen herrschenden Winde und Meeresströmungen ist es Maury gelungen, Seewege anzugeben, auf welchen man in ungleich kürzerer Zeit von verschiedenen Punkten aus nach entfernten überseeischen Ländern gelangen kann, als es früher geschah. 218

Die wichtigsten der von Maury angegebenen Seewege findet man auf der Karte Fig. 343 angegeben. Dem von Maury bezeichneten Wege folgend, gelang es, von New-York schon in 18 bis 20 Tagen den Aequator und in ungefähr 100 Tagen St. Francisco zu erreichen, während man früher zur Erreichung dieser Ziele 40 und 180 Tage gebraucht hatte.

Zur Fahrt von England nach Sydney brauchte man früher 125 Tage und die gleiche Zeit zur Rückfahrt, zusammen also 250 Tage; Maury aber hat den Verkehr zwischen England und Australien zu einer förmlichen Reise um die Welt gestaltet, welche in 130 Tagen ausgeführt werden kann, indem man bei der Fahrt von England nach Australien das Cap der guten Hoffnung, bei der Rückkehr von Australien nach England aber das Cap Horn dublirt.

Zweites Capitel.

Das Luftmeer, sein Druck und seine Strömungen.

---

219 **Die Lufthülle der Erde.** Die feste, zum Theil mit Wasser bedeckte Erdkugel ist mit einer gasförmigen Hülle umgeben, welche man mit dem Namen der Atmosphäre bezeichnet. Das Gasgemenge, aus welchem die Atmosphäre besteht, nennt man die Luft.

Die Hauptbestandtheile der atmosphärischen Luft sind Sauerstoffgas und Stickstoffgas, zu deren Gemisch noch verhältnissmässig geringe Quantitäten von Kohlensäure und Wasserdampf kommen. In 100 Raumtheilen Luft sind 79 Raumtheile Stickstoff und 21 Raumtheile Sauerstoff enthalten. Dieses Verhältniss ist fast ganz constant. Der Gehalt an Kohlensäure ist an und für sich sehr gering, unterliegt aber verhältnissmässig grösseren Schwankungen als Sauerstoff und Stickstoff, indem 10000 Raumtheile Luft 3,3 bis 5,3 Raumtheile Kohlensäure enthalten. Noch veränderlicher ist der Gehalt an Wasserdampf, wovon im folgenden Capitel ausführlicher gehandelt werden soll.

Der Luft kommt, wie dies in der Physik näher nachgewiesen wird, ebenso wie den festen und den tropfbar-flüssigen Körpern die Eigenschaft der Schwere zu. Die Lufttheilchen werden also von der Masse des Erdkörpers angezogen und dadurch auch verhindert, sich von der Erde aus in den Weltraum zu zerstreuen. Durch ihre Schwere wird die Atmosphäre zu einem integrirenden Theile der Erde, sie nimmt Theil sowohl an ihrer jährlichen wie an ihrer täglichen Bewegung.

Der Boden des Luftmeeres, welches wir Atmosphäre nennen, ist der Schauplatz alles organischen Lebens auf der Erde; nur durch Vermittelung der Luft wird das Thier- und Pflanzenleben unterhalten. Die Dichtigkeitsverhältnisse der Luft, ihre Bestandtheile, die Strömungen derselben, ihr Feuchtigkeitsgehalt und die durch denselben bedingten wässerigen Niederschläge, die Verbreitung der Wärme in der Atmosphäre sind also wesentliche Elemente für die Entwickelung der Flora sowohl wie der Fauna eines Landes.

Weil die Luft expansibel ist und das Volumen, welches eine gegebene Luftmenge einnimmt, von dem Drucke abhängt, welchem sie ausgesetzt ist, so ist klar, dass die Atmosphäre nicht überall gleiche Dichtigkeit haben kann, dass dieselbe vielmehr von unten nach oben fortwährend abnehmen muss, weil ja die tieferen Luftschichten einem weit grösseren Druck ausgesetzt sind als die höheren.

Dass die tieferen Luftschichten wirklich einen stärkeren Druck auszuhalten haben, das beweisen uns die in verschiedenen Höhen angestellten Barometerbeobachtungen. Am Meeresufer ist die Höhe der Barometersäule im Mittel 760 mm; sobald man sich aber über den Meeresspiegel erhebt, sinkt das Barometer um so mehr, je höher man steigt; zu Potosi, in einer Höhe von 3960 m, ist der mittlere Barometerstand nur noch 471 mm; in jener Höhe ist also der Luftdruck nur noch 0,62 von demjenigen, welcher am Ufer des Meeres stattfindet.

Dass die Luft in der Höhe weniger dicht ist als in der Tiefe, lässt sich gleichfalls durch Barometerversuche darthun. Vom Spiegel des Meeres aus muss man um 10,5 m steigen, wenn das Barometer um 1 mm fallen soll; wenn man aber von Potosi aus noch höher steigt, so muss man sich um 16,8 m erheben, um ein Sinken des Barometers um 1 mm zu erhalten. Die Dichtigkeit der Luft zu Potosi verhält sich also zu der Dichtigkeit der Luft am Ufer des Meeres wie 10,5 zu 16,8, d. h. im Niveau des Meeres ist die Luft 1,6 mal dichter als zu Potosi, oder mit anderen Worten: die Dichtigkeit der Luft zu Potosi ist nur 0,62 von derjenigen, welche am Ufer des Meeres stattfindet.

Die Variationen des Barometerstandes. Für einen und 220
denselben Ort ist die Höhe der Barometersäule keine ganz unveränderliche Grösse, sie ist vielmehr fortwährenden Schwankungen unterworfen, welche auf den ersten Anblick vollkommen unregelmässig erscheinen. Um die Gesetze der Barometerschwankungen zu ermitteln, muss das Barometer in ähnlicher Weise in regelmässigen Zeitintervallen beobachtet werden, wie dies beim Thermometer geschieht.

Um den Gang des Barometers möglichst genau verfolgen zu können, sollten diese Zeitintervalle möglichst kurz sein, eine Vervielfältigung der Beobachtungsstunden ist aber, wenn es sich um länger fortgesetzte Beobachtungsreihen handelt, ohne zahlreiches Beobachtungspersonal nicht möglich, man hat deshalb in neuerer Zeit vielfach versucht, registrirende Barometer zu construiren. Anfänglich wandte man zu diesem Zweck Heberbarometer an, in deren offenem Schenkel ein eiserner Schwimmer in das Quecksilber eintauchte. Der Schwimmer hing mittelst einer Schnur an einer Rolle, welche nach der einen oder der anderen Seite gedreht wurde, wenn der Schwimmer gehoben wurde oder sank; an dieser Rolle aber war endlich der Zeiger befestigt, dessen freies Ende den schreibenden Stift trug.

Diese Einrichtung war aber mit mannigfachen Unvollkommenheiten behaftet, welche Hipp dadurch zu vermeiden suchte, dass er das Quecksilber-Barometer durch ein Aneroïd-Barometer ersetzte. Secchi in Rom endlich, welcher auf der Pariser Industrieausstellung eine Reihe von ihm construirter ausgezeichneter meteorologischer selbst-registrirender Instrumente ausgestellt hatte, brachte mit dem besten Erfolge ein so-

Fig. 344.



genanntes Waagebarometer in Anwendung, welches Wild auch für die Berner Sternwarte adoptirte.

Die Construction des Waagebarometers ist aus Fig. 344 ersichtlich. Der untere Theil A der Barometerröhre ist nur 6 mm weit, oben aber ist ein Gefäss B von 32 mm innerem Durchmesser und 60 mm Höhe angeschmolzen. Das unten zu einer Spitze ausgezogene Ende der Röhre A taucht in ein 120 mm hohes, 50 mm breites, halb mit Quecksilber gefülltes hölzernes Gefäss von quadratischem Querschnitt, an welchem zwei gegenüberstehende Wände durch Spiegelplatten gebildet werden. Mittelst des Bügels C, der den engeren Theil der Röhre umschliesst, ist die Barometerröhre an den einen Arm D eines Waagebalkens angehängt,

dessen anderer Arm *F* nach unten gebogen ist und in eine Stahlstange mit verschiebbarem Laufgewicht ausläuft. Der Waagebalken ist um die scharfe Kante einer Stahlschneide drehbar, welche auf Stahlpfannen ruht, die in einen scheerenförmigen Träger eingelassen sind. An dem Waagebalken ist endlich der dünne federnde Zeiger *K* befestigt, welcher an seinem Ende die markirende Nadel trägt.

Wenn das Barometer steigt, so wird die im Rohre befindliche Quecksilbersäule schwerer, der Waagebalken wird also auf der Seite von *D* etwas niedergezogen, während sich *F* mit dem Laufgewichte hebt; in Folge davon wird natürlich auch das untere Ende des Zeigers *K* nach der rechten Seite hin bewegt, während es nach der linken geht, wenn das Barometer fällt.

Die von zehn zu zehn Minuten erfolgende Markirung geschieht hier ganz in der Weise, welche wir bereits beim registrirenden Thermometer kennen lernten, mit dem einzigen Unterschiede, dass sich der Papierstreifen hier in verticaler Richtung von oben nach unten bewegt, wie dies auch aus Fig. 344 ersichtlich ist, wo durch die Buchstaben *K*, *P*, *d* und *v* die gleichen Stücke des Schreibapparates bezeichnet werden, wie in Fig. 282, Seite 489.

Von neueren registrirenden Barometern ist namentlich der Sprung'sche Barograph zu erwähnen, welcher auf einem ähnlichen Principe wie der Secchi'sche beruht. Doch wird bei demselben in einer sinnreichen Weise der Waagebalken, an welchem das Barometer hängt, durch ein selbstthätiges Laufgewicht, mit welchem die Registrirvorrichtung in Verbindung gebracht ist, immer in der horizontalen Lage gehalten, so dass also bei wechselndem Barometerstande das Laufgewicht nebst seiner Registrirvorrichtung seitliche Bewegungen ausführt.

Tägliche Variationen des Barometers. Um entscheiden 221
zu können, ob mitten in den beständig stattfindenden zufälligen Schwankungen des Barometers sich nicht auch ein periodisches Steigen und Fallen geltend macht, muss man die Mittelzahlen einer grossen Reihe von Barometerbeobachtungen mit einander vergleichen, welche regelmässig zu bestimmten Stunden des Tages angestellt worden sind. Wenn man einen Monat lang das Barometer an mehreren bestimmten Stunden des Tages beobachtet und das Mittel aus allen zu derselben Stunde gemachten Beobachtungen nimmt, so reicht dies hin, um die Existenz einer täglichen Periode der Barometerschwankungen auch für unsere Gegenden zu beweisen. Die Tabelle auf Seite 656 enthält die Resultate einer 20jährigen, von Bouvard auf der Sternwarte zu Paris angestellten Reihe von Barometerbeobachtungen; sie giebt die auf 0° reducirten Barometerstände in Millimetern an. Die Beobachtungsstunden waren 9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags, 3 Uhr Nachmittags und 9 Uhr Abends.

Die erste Columne dieser Tabelle enthält die Angabe der Beobachtungsjahre; dann folgt die Angabe des in jedem Jahre beobachteten höch-

Jahr	Höchster Stand		Tiefster Stand		Mittlere Barometerstände				
	H. St.	Tag Monat	T. St.	Tag Monat	9 Uhr Mrgs.	12 Uhr Mitt.	3 Uhr Nchm.	9 Uhr Abds.	Mittel
1819	770,89	1. Januar	738,00	1. März	754,104	754,863	754,389	754,789	754,786
1820	772,60	9. „	726,33	24. „	755,077	755,838	755,352	755,712	755,745
1821	780,82	6. Februar	715,54	24. Decbr.	755,986	755,755	755,285	755,764	755,697
1822	775,93	27. „	734,60	2. „	757,437	757,158	756,591	757,020	757,052
1823	772,23	7. Decbr.	722,34	2. Februar	755,033	754,796	754,353	754,633	754,704
1824	773,24	27. Mai	728,66	12. October	755,817	755,567	755,072	755,385	755,460
1825	776,35	10. Januar	726,82	10. Novbr.	757,742	757,430	756,873	756,962	757,252
1826	774,79	17. „	731,53	13. „	757,367	757,047	756,509	756,868	756,948
1827	773,48	28. Decbr.	733,50	4. März	756,211	755,995	755,484	755,847	755,884
1828	771,10	12. „	730,54	21. Februar	756,306	756,084	755,616	755,982	755,997
1829	773,46	3. Februar	734,68	7. October	755,377	755,107	754,641	755,145	755,068
1830	771,90	1. Januar	729,42	9. Decbr.	755,918	755,691	755,255	755,772	755,646
1831	772,40	8. „	733,80	30. April	755,356	755,157	754,676	755,176	755,091
1832	771,02	4. April	738,05	30. „	757,893	757,548	757,025	757,597	757,515
1833	774,04	8. Januar	730,68	1. „	755,790	755,508	754,988	755,521	755,452
1834	772,00	27. Decbr.	739,46	10. Januar	759,014	758,650	758,073	758,690	758,607
1835	776,63	2. Januar	730,16	10. October	757,270	756,990	756,494	757,114	756,967
1836	775,81	2. „	724,00	28. März	755,363	755,038	754,578	755,165	755,036
1837	772,41	14. October	737,74	13. Septbr.	756,686	756,381	755,861	756,360	756,322
1838	772,31	31. Decbr.	728,88	25. Februar	754,679	754,365	753,896	754,355	754,324
1839	771,53	1. Januar	735,77	20. „	755,386	755,102	754,631	755,048	755,041
1840	772,37	11. „	731,70	4. „	756,492	756,135	755,628	756,198	756,113
Mittel	773,51		731,01		756,287	756,009	755,512	755,957	755,941

sten und tiefsten Barometerstandes. Die für eine jede Beobachtungsstunde angegebenen Zahlen sind das Mittel aus allen zu dieser Stunde im Laufe eines Jahres gemachten Beobachtungen; so ist z. B. 754,389 das Mittel aus allen im Laufe des Jahres 1819 um 3 Uhr Nachmittags beobachteten Barometerständen.

Man sieht aus dieser Tabelle, dass die für die verschiedenen Beobachtungsstunden gefundenen jährlichen Mittel ungleich sind; sie haben durchschnittlich den höchsten Werth für 9 Uhr Morgens, den niedrigsten um 3 Uhr Nachmittags; es spricht sich darin entschieden ein periodisches Sinken und Steigen aus; die nicht periodischen Schwankungen unberücksichtigt gelassen, sinkt demnach das Barometer ungefähr von 9 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags, um dann wieder zu steigen. Um 9 Uhr Morgens steht das Barometer im Durchschnitt um 0,775 mm höher als um 3 Uhr Nachmittags.

Die Amplitude der periodischen Schwankungen ist dieser Tabelle zufolge sehr gering im Vergleich zu den unregelmässigen nicht periodischen Schwankungen; denn im Durchschnitt ist der höchste Barometerstand im Laufe eines Jahres 773,5 mm, der niedrigste 731 mm, ihre Differenz also 42,5 mm, während die Differenz des täglichen Maximums und Minimums nur 0,775 mm beträgt.

Um den Gang der täglichen Barometerschwankungen gehörig verfolgen zu können, muss eine Zeit lang wenigstens bei Tage stündlich das Barometer beobachtet werden. Die meisten Beobachtungsreihen dieser Art sind jedoch des Nachts nicht fortgesetzt; man kann aber mit ziemlicher Sicherheit aus den am Tage gemachten Beobachtungen auf den Gang des Barometers in der Nacht schliessen.

Die Tabelle auf Seite 658 enthält die Resultate solcher Beobachtungsreihen, welche an verschiedenen Orten angestellt wurden.

Nach dieser Tabelle ist in den Figuren (Taf. 17) der Gang der täglichen Barometervariationen für Cumana, Calcutta, Padua und Petersburg anschaulich gemacht.

Die Zeit ist zur Abscisse genommen; der Maassstab der Ordinaten aber ist vergrössert, weil die Amplitude der täglichen Variationen namentlich in höheren Breiten sonst wegen ihrer Kleinheit nicht sichtbar geworden wäre, die Entfernung je zweier auf einander folgender Horizontallinien stellt $^1/_2$ mm dar.

Das Barometer sinkt also vom Mittag an und erreicht zwischen 3 und 5 Uhr sein erstes Minimum, es steigt dann und erreicht ein Maximum zwischen 9 und 11 Uhr Abends; ein zweites Minimum tritt gegen 4 Uhr Morgens, ein zweites Maximum gegen 9 Uhr Morgens ein.

Die Stunden, in welchen die tägliche Variation ein Maximum oder Minimum erreicht, nennt man Wendestunden.

Die Wendestunden sind bei uns nicht für alle Jahreszeiten dieselben, wie man aus der Tabelle auf Seite 659 ersehen kann, welche

Orte	Gr. Ocean	Cumana	La Guayra	Calcutta	Padua	Halle	Abo	Petersburg
Entfernung vom Aequator	$0^0 0'$	$10^0 28'$ n.	$10^0 36'$ n.	$22^0 35'$ n.	$45^0 24'$ n.	$51^0 29'$ n.	$60^0 57'$ n.	$59^0 66'$ n.
Beóbachter	Horner	Humboldt	Boussingault	Balfour	Ciminello	Kämtz	Hallström	Kupfer
Mittag	752,35	756,57	759,41	759,61	757,02	753,29	759,31	759,47
1	751,87	755,99	758,91	759,22	756,85	753,11	759,29	
2	751,55	755,47	758,41	758,39	756,67	752,99	759,27	759,38
3	751,15	755,14	758,12	758,12	756,54	752,89	759,25	
4	751,02	754,96	758,06	757,91	756,47	752,84	759,25	759,32
5	751,31	755,14	758,10	757,93	756,46	752,86	759,27	
6	751,71	755,41	758,40	758,01	756,50	752,91	759,29	759,31
7	751,93	755,81	758,90	758,02	756,63	753,02	759,34	
8	752,35	756,21	759,19	758,54	756,79	753,14	759,39	759,32
9	752,74	756,59	759,69	759,24	756,92	753,24	759,44	
10	752,85	756,87	759,93	759,33	757,02	753,31	759,47	759,36
11	752,86	757,15	759,98	759,09	757,02	753,29	759,47	
Mitternacht	752,47	756,86	759,64	758,80	757,01	753,23	759,41	759,35
1	752,20	756,58	759,34	758,62	756,90	753,14	759,33	
2	751,77	756,21	759,04	758,57	756,84	753,05	759,24	759,32
3	751,63	755,89	758,81	758,49	756,78	752,99	759,14	
4	751,32	755,66	758,68	758,47	756,74	752,99	759,07	759,32
5	751,65	755,79	758,85	758,44	756,75	753,34	759,03	
6	751,95	756,18	759,32	758,68	756,79	753,12	759,04	759,39
7	752,48	756,58	759,94	759,16	756,89	753,24	759,08	
8	752,95	756,98	760,50	759,88	757,01	753,37	759,15	759,49
9	753,16	757,31	759,63	760,11	757,08	753,44	759,21	
10	753,15	757,32	760,50	760,19	757,14	753,46	759,29	759,51
11	752,80	757,01	759,99	760,09	757,07	753,40	759,32	

für Halle die Wendestunden in den verschiedenen Monaten des Jahres enthält.

Monate	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Januar	2,81 h. A.	9,17 h. A.	4,91 h. M.	9,91 h. M.
Februar	3,43	9,46	3,86	9,66
März	3,82	9,80	3,87	10,10
April	4,46	10,27	3,53	9,53
Mai	5,43	10,93	3,03	9,13
Juni	5,20	10,93	2,83	8,73
Juli	5,21	11,04	3,04	8,48
August	4,86	11,66	3,06	8,96
September	4,55	10,45	3,45	9,71
October	4,17	10,24	3,97	10,07
November	3,52	9,85	4,68	10,08
December	3,15	9,11	3,91	10,18

Bestimmt man die Wendestunden, indem man das Mittel aus allen Monatszahlen nimmt, so ergeben sich für alle Orte sehr nahe dieselben Wendestunden. Nimmt man alle auf der nördlichen Halbkugel angestellten Beobachtungen zusammen, so ergeben sich im Durchschnitt folgende Wendestunden:

Minimum des Nachmittags	4	Uhr	5	Minuten.
Maximum „ Abends	10	„	11	„
Minimum „ Morgens	3	„	45	„
Maximum „ Morgens	9	„	37	„

Vergleicht man die Amplitude der täglichen Variationen, so findet man, wie schon angeführt wurde, dass sie in den Tropen am grössten ist, und dass sie um so mehr abnimmt, je weiter man sich von dem Aequator entfernt. In Cumana beträgt die Amplitude der täglichen Variationen 2,36, in Petersburg nur 0,2 mm.

Auch die Jahreszeiten üben auf die Grösse der täglichen Variationen einen Einfluss aus; selbst in den Tropen ist die Amplitude derselben während der Regenzeit geringer. Im Winter ist die Amplitude der täglichen Schwankungen ein Minimum; zu welcher Zeit sie ein Maximum ist, hat man bis jetzt noch nicht genügend ermittelt. Die folgende Tabelle giebt die Werthe der täglichen Amplitude zu Halle und Mailand für die 12 Monate des Jahres an.

Monate	Halle	Mailand
	mm	mm
Januar	0,393	0,738
Februar	0,476	0,718
März	0,488	0,871
April	0,569	0,871
Mai	0,546	0,801
Juni	0,557	0,961
Juli	0,566	0,952
August	0,569	0,812
September	0,546	0,817
October	0,566	0,745
November	0,426	0,727
December	0,363	0,700

222 **Jährliche Periode der Barometerschwankungen.** Wenn man den mittleren Barometerstand für die verschiedenen Monate des Jahres bestimmt, so findet man bald, dass er sich von einem Monate zum anderen bedeutend ändert, und man erkennt in diesen Veränderungen auch bald eine jährliche Periode des Sinkens und Steigens. Die beiden folgenden Tabellen enthalten die mittleren Barometerstände der verschiedenen Monate für zehn Orte der nördlichen Hemisphäre:

Monate	Havanna	Calcutta	Benares	Macao	Cairo
	mm	mm	mm	mm	mm
Januar	765,24	764,57	755,41	767,93	762,40
Februar	760,15	758,86	752,91	767,01	"
März	760,98	756,24	751,19	766,08	759,43
April	759,58	753,83	747,33	761,93	760,10
Mai	758,19	750,81	745,01	761,64	758,23
Juni	760,67	748,10	741,13	757,31	754,42
Juli	760,67	747,54	740,65	757,91	753,90
August	757,33	748,53	743,31	757,91	754,06
September	757,46	751,85	745,98	762,22	756,70
October	758,19	755,20	750,35	763,37	759,70
November	761,25	758,37	753,06	766,17	760,76
December	763,62	760,59	755,57	768,65	761,82

Monate	Paris	Strassburg	Halle	Berlin	Petersburg
	mm	mm	mm	mm	mm
Januar	758,86	751,62	754,64	761,91	760,00
Februar	759,09	752,43	753,44	761,23	758,52
März	756,33	751,19	751,62	759,90	758,38
April	755,18	749,95	750,98	757,82	759,01
Mai	755,61	750,49	752,57	759,88	759,21
Juni	757,28	752,16	752,70	759,81	757,37
Juli	756,52	751,64	753,27	759,58	756,53
August	756,74	752,03	752,18	759,02	757,82
September	756,61	752,59	753,42	760,53	759,35
October	754,42	751,82	755,55	761,25	759,11
November	755,75	751,28	753,27	759,43	758,42
December	755,09	750,70	754,10	760,35	758,67

Um die Veränderungen des mittleren Barometerstandes im Laufe eines Jahres anschaulicher zu machen, folgt in Fig. 5 und 6 auf Tab. 17 die graphische Darstellung derselben für Calcutta und Macao, in Fig. 1 und 2, Tab. 18, für Paris und Petersburg.

In Calcutta, wo man eine achtjährige Reihe von Beobachtungen angestellt hat, spricht sich die jährliche Periode am entschiedensten aus. Im Januar ist der mittlere Barometerstand am höchsten, er sinkt beständig bis zum Juli, wo er sein Minimum erreicht, und steigt dann wieder bis zum Januar. Die Amplitude der jährlichen Periode beträgt für Calcutta 17 mm; in Amerika scheint diese Amplitude, welche ebenfalls mit der Entfernung vom Aequator abnimmt, geringer zu sein.

Auch in höheren Breiten ist der mittlere Barometerstand im Winter höher als in allen übrigen Jahreszeiten, allein die Differenz des grössten und des kleinsten Monatsmittels ist weit geringer als in den Tropen. Ausserdem aber ist in grösserer Entfernung vom Aequator der periodische Gang des mittleren Barometerstandes im Laufe des Jahres auch weniger regelmässig, wie man sowohl aus der Tabelle, als auch in den Figuren sehen kann.

Einfluss der Höhe über dem Meeresspiegel auf die periodischen Schwankungen des Barometers. 223 Da das Barometer die Grösse des Druckes anzeigt, welchen die über uns befindliche Luft ausübt, so werden die Schwankungen des Barometers auf hohen Bergen, wo eine Luftsäule von weit geringerer Höhe und Dichtigkeit drückt, auch geringer sein müssen als in der Tiefe, und es lässt sich erwarten, dass in gewissen Höhen über dem Meeresspiegel die Veränderungen des Luftdruckes sehr unbedeutend werden. Dass die Erhebung über das Niveau des Meeres wirklich einen solchen Einfluss ausübt, geht aus den Barometerbeobachtungen hervor, welche Kämtz auf dem Rigi und auf

dem Faulhorn angestellt hat, und welche in der folgenden Tabelle mit den gleichzeitigen mittleren Barometerständen der verschiedenen Tagesstunden zu Zürich zusammengestellt sind. Die Zahlen von 10 Uhr Abends bis 5 Uhr Morgens sind durch Interpolation bestimmt.

Stunden	Zürich	Rigi	Unterschiede	Zürich	Faulhorn	Unterschiede
	mm 720 +	mm 610 +	mm 100 +	mm 730 +	mm 550 +	mm 170 +
Mittag	4,08	4,36	9,72	1,58	7,88	3,70
1	3,92	4,37	9,57	1,25	7,75	3,50
2	3,82	4,38	9,45	0,99	7,66	3,33
3	3,72	4,34	9,38	0,71	7,59	3,13
4	3,63	4,34	9,30	0,64	7,50	3,15
5	3,61	4,30	9,31	0,76	7,49	3,27
6	3,76	4,38	9,38	0,92	7,51	3,41
7	3,95	4,40	9,57	1,21	7,41	3,80
8	4,22	4,57	9,87	1,52	7,43	4,10
9	4,55	4,70	9,85	1,72	7,44	4,27
10	4,61	4,72	9,90	1,79	7,41	4,39
11	4,68	4,68	10,00	1,77	7,36	4,41
Mitternacht	4,58	4,58	10,01	1,72	7,28	4,44
1	4,43	4,45	9,99	1,63	7,19	4,45
2	4,28	4,30	9,98	1,54	7,08	4,47
3	4,19	4,17	10,03	1,51	6,96	4,55
4	4,18	4,09	10,10	1,54	6,90	4,65
5	4,25	4,03	10,23	1,66	6,90	4,76
6	4,31	4,03	10,28	1,79	7,05	4,76
7	4,38	4,05	10,33	1,97	7,16	4,80
8	4,41	4,13	10,28	2,13	7,36	4,77
9	4,38	4,16	10,22	2,20	7,62	4,57
10	4,29	4,23	10,06	2,12	7,89	4,24
11	4,19	4,34	9,86	1,87	7,99	3,97

Hier zeigt sich der Einfluss der Höhe auf die Grösse der täglichen Variationen entschieden. Die Differenz zwischen dem höchsten und niedrigsten Stande ist in Zürich 1,56 mm, während sie auf dem Faulhorn nur 1,09 mm ist. Ausser der Grösse der Schwankungen zeigt sich aber auch im Gange des Barometers eine grosse Verschiedenheit, wie man am besten aus Fig. 3, Tab. 18, ersieht, in welcher die täglichen Variationen auf dem Faulhorn und in Zürich durch Curven anschaulich gemacht sind. Die Zahlen rechts beziehen sich auf die untere, die Zahlen links auf die obere Curve. Man sieht, dass am Nachmittag das Barometer an beiden Orten sinkt; in Zürich steigt es aber von 4 Uhr an bis gegen 10 Uhr Abends, während auf dem Faulhorn das Sinken bis 5 Uhr Morgens

fortdauert; nun steigt auf dem Faulhorn das Barometer wieder bis gegen Mittag, während es in Zürich schon um 9 Uhr Morgens seinen höchsten Stand erreicht; auf dem Faulhorn ist also im Laufe des Tages nur ein entschiedenes Maximum und ein entschiedenes Minimum wahrzunehmen.

Mittlere monatliche Schwankungen. Es ist bereits erwähnt worden, dass in unseren Gegenden die periodischen Schwankungen des Barometers durch die zufälligen, nicht periodischen maskirt sind, dass man die periodischen Schwankungen nur durch Mittelzahlen aus lange fortgesetzten Beobachtungsreihen nachweisen kann. Wir wollen uns jetzt zur Betrachtung der nicht periodischen Schwankungen wenden und zunächst den Einfluss der Jahreszeiten auf die Grösse derselben kennen lernen. 224

Nach den vom physikalischen Vereine zu Frankfurt a. M. angestellten meteorologischen Beobachtungen sind Folgendes die Unterschiede des höchsten und tiefsten Tagesmittels für jeden der zwölf Monate vom Jahre 1837 bis 1843 in Pariser Linien:

	1837	1838	1839	1840	1841	1842	1843	Mittel
Januar	9,5	10,5	15	13,5	15	10,5	18	13,1
Februar	13	15	10,5	15,5	10	13	13	13
März	6,5	12,5	10	8,5	13	12	7,5	10
April	8,5	8	6,5	8	8	11,5	8	8,3
Mai	6	7,5	7	11	7,5	6,5	7	7,5
Juni	3,5	5,5	7,5	5,5	8,5	5	5	5,8
Juli	4,5	5,5	4,5	6,5	7	7	8,5	6,2
August	8,5	7,5	8,5	6	8	7	5,5	7,3
September	8	9,5	9,5	9,5	6	8	9	8,3
October	11	8,5	4	13	11	13	11	10,2
November	13	12	7,5	14	16,5	14	7	12
December	9,5	9,5	9,5	12,5	10	8,5	7,5	9,6

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Grösse der nicht periodischen Schwankungen im Sommer kleiner ist als im Winter, besonders deutlich ersieht man dies aus den Mittelzahlen der letzten Columne. Nimmt man das Mittel aus den 12 Zahlen der letzten Columne, so erhält man den Werth 9,28 Pariser Linien oder 20,4 mm als Durchschnittswerth für die Differenz der monatlichen Extreme.

Dies ist jedoch noch nicht der wahre Mittelwerth für die Grösse der monatlichen Schwankungen; denn wir haben ja nicht die Differenz des im Laufe eines Monats beobachteten höchsten und niedrigsten Barometerstandes, sondern nur den Unterschied des höchsten und des tiefsten mittleren täglichen Barometerstandes in Rechnung gebracht.

Die folgende Tabelle enthält die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen an verschiedenen Orten der Erde:

Batavia	6°	12′	S.	2,98 mm
Tivoli (St. Domingo)	18	35	N.	4,11
Arica	18	25	S.	4,99
Havanna	32	9		6,38
Calcutta	22	34	N.	8,28
Teneriffa	28	26		8,48
Funchal (Madeira)	22	37		10,42
Sydney	33	52	S.	21,06
Capstadt	33	55		12,45
Rom	41	53	N.	17,15
Hobarton	42	52	S.	29,59
Montpellier	43	36	N.	18,02
Mailand	45	28		19,24
Wien	48	13		20,53
Paris	48	50		23,66
Moskau	55	46		24,05
Berlin	52	31		25,24
New-Haven (Connecticut)	41	10		25,29
Jakutsk	62	2		25,92
London	51	31		27,88
Petersburg	59	56		29,24
Nain (Labrador)	57	8		32,35
Christiania	59	55		33,05
Reykiavig	64	8		34,76
Mosselbay (Spitzbergen)	79	53		32,20
Polarisbay	81	36		28,39

Die nicht periodischen Barometerschwankungen sind also nicht allein im Winter grösser als im Sommer, sondern sie sind auch in kalten Ländern bedeutender als in heissen, d. h. sie nehmen im Allgemeinen um so mehr zu, je weiter man sich vom Aequator entfernt.

Solche Linien auf der Erdoberfläche, welche alle Orte mit einander verbinden, für welche die mittlere monatliche Amplitude der Barometerschwankungen dieselbe ist, heissen isobarometrische Linien.

Wir können hier den Lauf der isobarometrischen Linien nicht weiter verfolgen und müssen uns auf einige allgemeine Bemerkungen beschränken. Aus der eben mitgetheilten Tabelle ersieht man, dass die isobarometrischen Linien durchaus nicht mit den Parallelkreisen zusammenfallen. Sydney und Capstadt liegen nahe in gleicher Breite, und doch sind die Barometerschwankungen in Sydney weit bedeutender. An der Ostküste von Nordamerika sind die zufälligen Schwankungen des Barometers viel grösser als an den Westküsten von Europa, sie sind in New-Haven und dem 11° 21′ nördlicher gelegenen Berlin fast gleich, die

isobarometrischen Linien steigen also von den Ostküsten Nordamerikas nach Europa und entfernen sich dann um so weiter vom Aequator, je weiter man ins Innere des Continents der alten Welt kommt.

Schwerecorrection der Barometerangaben. Wenn ein 225
Quecksilber- und ein Aneroïdbarometer in einer bestimmten geographischen Breite bei gleichem Luftdruck die gleiche Ablesung liefern, so geben sie in einer anderen geographischen Breite, ebenfalls bei gleichem Luftdruck, verschiedene Ablesungen. Da nämlich, wie früher gezeigt worden ist, die Schwerkraft der Erde an verschiedenen Stellen ihrer Oberfläche eine verschiedene ist, so wird eine und dieselbe Quecksilbermenge in verschiedenen geographischen Breiten von der Erde mit verschiedener Stärke angezogen. Dies lässt sich allerdings nicht auf die Art nachweisen, dass man mit einer gewöhnlichen Waage eine und dieselbe Quantität Quecksilber wägt, da ja offenbar die Gewichte, welche hierbei zur Vergleichung dienen, genau in demselben Verhältniss in höheren Breiten von der Erde stärker angezogen werden als in niedrigeren; dagegen würde man den Unterschied des Gewichtes des Quecksilbers in verschiedenen Breiten mit Hülfe einer sehr vollkommenen Federwaage messen können, weil hierbei die Schwerkraft der Erde mit einer anderen von ihr unabhängigen Kraft, nämlich der Elasticität einer Feder, verglichen wird. Das Quecksilberbarometer kann nun ebenfalls als eine Waage angesehen werden, in welcher eine gewisse Quecksilbersäule sich mit einer entsprechenden Luftsäule im Gleichgewicht befindet. Denken wir uns nun am Beobachtungsorte die Schwerkraft verändert, so wird offenbar dieses Gleichgewicht nicht gestört, dagegen wird der Druck, welchen sowohl die Quecksilbersäule als auch die Luft auf die Unterlage ausüben, ein anderer werden, und ein Aneroïdbarometer würde dies sofort ebenso anzeigen, wie durch eine Federwaage das veränderte Gewicht des Quecksilbers nachgewiesen werden würde.

Es geht hieraus hervor, dass man, wenn der thatsächlich stattfindende Luftdruck in verschiedenen Gegenden verglichen werden soll, auf die Verschiedenheit der Schwerkraft Rücksicht nehmen muss, sobald die Messungen mit einem Quecksilberbarometer, oder einem anderen, welches auf demselben Principe beruht, angestellt worden sind. Die Meteorologen sind daher in neuerer Zeit grossentheils übereingekommen, alle Barometerbeobachtungen auf die in einer bestimmten geographischen Breite, und zwar derjenigen von 45^0, zu reduciren.

Aus Pendelbeobachtungen hat sich nun ergeben, dass die Grösse g, welche der Schwerkraft proportional und gleich der Geschwindigkeit ist, welche ein frei fallender Körper nach Verlauf der ersten Secunde seines Falles (im luftleeren Raume) erreicht, für einen Ort von der geographischen Breite φ folgende Grösse hat:

$$g = 9{,}7810\,\mathrm{m} + 0{,}0503\,\mathrm{m}\,sin\,\varphi^2.$$

Da $\sin\varphi^2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cos 2\varphi$ ist, so können wir die Formel auch folgendermaassen schreiben:

$$g = 9{,}7810\,\mathrm{m} + 0{,}02515\,\mathrm{m} - 0{,}02515\cos 2\varphi$$
$$= 9{,}80615\,\mathrm{m} - 0{,}02515\,\mathrm{m}\cos 2\varphi.$$

Für die geographische Breite 45° wird $\cos 2\varphi = 0$, und es ergiebt sich also für diese Breite, wenn wir hier g_0 für g setzen:

$$g_0 = 9{,}80615\,\mathrm{m}.$$

Der Unterschied zwischen g und g_0 ist also:

$$g - g_0 = -0{,}02515\cos 2\varphi.$$

Nun ist $0{,}02515 = g_0 \cdot \dfrac{0{,}02515}{9{,}80615} = g_0 \cdot 0{,}0026;$

also können wir auch setzen:

$$g - g_0 = -0{,}0026\,.\,\cos 2\varphi\,.\,g_0,$$

oder

$$g = g_0\,(1 - 0{,}0026\cos 2\varphi).$$

In demselben Verhältniss, in welchem die Schwerkraft grösser wird, muss das Quecksilberbarometer im Vergleich zu einem Aneroïdbarometer zu niedrig zeigen. Bezeichnet demnach b den Barometerstand am Beobachtungsorte, b_0 denselben, aber auf die Schwerkraft von 45° Breite reducirt, so wird sein $\dfrac{b_0}{b} = \dfrac{g}{g_0}$. Wir haben also auch die Gleichung:

$$b_0 = b\,(1 - 0{,}0026\cos 2\varphi),$$

und erhalten hiermit die Reduction des Barometerstandes auf die Schwere von 45°. Für $b = 760$ mm ergiebt sich danach die an den abgelesenen Barometerstand anzubringende Correction in verschiedenen geographischen Breiten folgendermaassen:

Geographische Breite	Correction
0°	— 1,98 mm
10	— 1,86
20	— 1,51
30	— 0,99
40	— 0,34
50	+ 0,34
60	+ 0,99
70	+ 1,51
80	+ 1,86
90	+ 1,98

Es folgt aus dieser Tafel, dass bei gleichem Luftdruck ein Quecksilberbarometer an den Polen um beinahe 4 mm niedriger zeigt als am Aequator.

Selbstverständlich ist bei barometrischen Messungen auf Berghöhen, soweit sie mit dem Quecksilberbarometer geschehen, auf die Veränderung der Schwerkraft mit der Höhe ebenfalls Rücksicht zu nehmen. Diese Veränderung setzt sich aus zwei Theilen zusammen. Denn einestheils wird die Schwerkraft bei grösserer Entfernung vom Erdmittelpunkte im Verhältnisse des Quadrates der Entfernung verringert, andererseits übt aber die unter dem Barometer befindliche Gebirgsmasse ebenfalls eine Anziehung aus. Während der erstere Theil seiner Grösse nach ohne Schwierigkeit ermittelt werden kann, wenn nur die Höhe der Station über dem Meeresspiegel bekannt ist, so ist der zweite Theil meist unbestimmt, weil dabei die nicht sicher bekannte Dichtigkeit der Gebirgsmasse sowie auch die meist complicirte Figur derselben von Einfluss ist. Am sichersten wird es immer sein, auf solchen Stationen entweder durch Pendelbeobachtungen die Grösse der Schwerkraft zu ermitteln, oder durch Vergleichung von Quecksilber- und Aneroïdbarometern, welche in der Ebene und auf dem Berge angestellt werden, die Correction der Ablesungen direct zu ermitteln.

Betrachten wir nun zunächst den ersten Theil der Correction, der immer der grössere ist. Es sei R die Entfernung eines vertical unter dem Beobachtungsorte im Meeresniveau befindlichen Punktes vom Erdmittelpunkte, r die Höhe der Station über dem Meeresniveau, so wird an diesen beiden Punkten die Beschleunigung der Schwerkraft nach Ablauf einer Secunde, die wir resp. mit g und g_r bezeichnen wollen, das Verhältniss haben:

$$\frac{g}{g_r} = \frac{(R + r)^2}{R^2}$$
$$= 1 + 2\frac{r}{R} + \left(\frac{r}{R}\right)^2,$$

oder, wenn wir das letzte Glied, welches immer äusserst klein sein wird, vernachlässigen:

$$g = g_r\left(1 + 2\frac{r}{R}\right),$$

und

$$g_r = \frac{g}{1 + 2\frac{r}{R}}.$$

Die Division ergiebt, wenn wieder die Glieder von der Ordnung $\frac{r^2}{R^2}$ vernachlässigt werden,

$$g_r = g\left(1 - 2\frac{r}{R}\right).$$

Drückt man r und R in Metern aus, so wird, da R im Mittel etwa $= 6\,371\,000$ m angenommen werden kann,

$$g_r = g\,(1 - 0{,}000000\,314 \,.\, r).$$

In der Höhe r wird demnach der Barometerstand b', den ein Quecksilberbarometer angiebt, sich zu dem Barometerstand b eines richtig zeigenden Aneroïdbarometers verhalten wie:

$$b' : b' (1 - 0{,}000\,000\,314 \,.\, r),$$

oder die Correction, welche an b' anzubringen ist, wird

$$= - 0{,}000\,000\,314\, r\, b'$$

sein.

Diese Correction würde etwa für solche Barometerbeobachtungen gelten, welche in Luftballons ausgeführt sind; auf Bergstationen beträgt sie aber aus dem oben erwähnten Grunde weniger.

Für die meteorologische Station auf dem Säntis beträgt $r = 2500$ m; b' (der mittlere Barometerstand) 565 mm; wir erhalten danach für die an das Quecksilberbarometer anzubringende Correction den Betrag 0,44 mm, doch ist dieselbe wegen der Anziehung des Berges selbst auf etwa 0,32 mm zu verringern.

226 **Mittlere Barometerhöhe im Niveau des Meeres.** Man glaubte früher, dass der mittlere Barometerstand am Meeresspiegel allenthalben derselbe sei; dies ist jedoch nicht der Fall, wie man aus folgender Tabelle ersehen kann, in welcher nach Ferrel die mittleren Barometerstände für verschiedene geographische Breiten angegeben sind. Dieselben sind auf das Meeresniveau und die Schwere von 45° reducirt.

Nördliche Breite	Mittlerer Barometerstand	Südliche Breite	Mittlerer Barometerstand
80°	760,5 mm	5°	758,3 mm
75	60,0	10	59,1
70	58,6	15	60,2
65	58,2	20	61,7
60	58,7	25	63,2
55	59,7	30	63,5
50	60,7	35	62,4
45	61,5	40	60,5
40	62,0	45	57,3
35	62,4	50	53,2
30	61,7	55	48,2
25	60,4	60	43,4
20	59,2	65	39,7
15	58,3	70	38,0
10	57,9		
5	58,0		
0	58,0		

Wir sehen aus dieser Tabelle, wie dies in Fig. 4 auf Tab. 18 auch graphisch dargestellt ist, dass der mittlere Barometerstand am Meere vom Aequator nach dem Nordpole erst ein wenig ab-, dann zunimmt, dass er

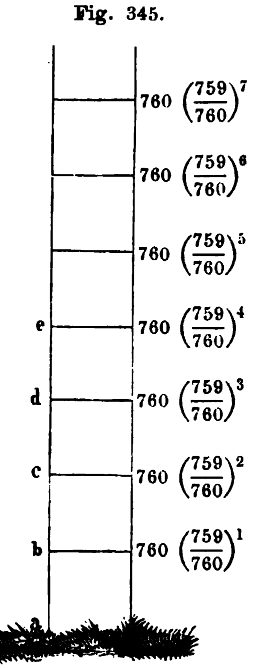
zwischen dem 30. und 40. Breitengrade sein Maximum erreicht, dann weiter nach Norden hin wieder abnimmt und zwischen dem 60. und 70. Grade nördlicher Breite wieder ein Minimum erreicht.

Auf der südlichen Halbkugel nimmt der Barometerstand vom Aequator nach Süden hin stark zu und erreicht den höchsten Stand unter dem 30. Breitengrade. Darauf nimmt er bedeutend ab und wird sein Minimum wohl etwa beim Südpole selbst finden.

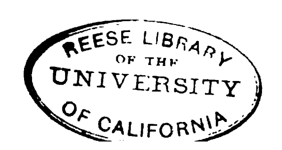
Die Linien gleicher Barometerhöhe, von denen später noch die Rede sein wird, nennt man Isobaren. In Tab. XLV sind die Jahresisobaren, d. h. die Linien gleicher mittlerer Barometerhöhe (auf den Meeresspiegel reducirt), und in Tab. XLVI und XLVII die mittleren Isobaren für die Monate Januar und Juli gezeichnet.

Barometrische Höhenmessung. Es ist eine schon bald nach Entdeckung des Barometers constatirte Thatsache, dass das Barometer um so mehr sinkt, je mehr man sich mit demselben über den Spiegel des Meeres erhebt. Die Höhendifferenz zweier Orte ist also eine Function der gleichzeitig an denselben beobachteten Barometerstände oder mit anderen Worten: wenn man an zwei nicht allzuweit von einander entfernten Stationen zu gleicher Zeit den Stand des Barometers beobachtet hat, so kann man danach den Höhenunterschied der beiden Stationen berechnen. Suchen wir die dazu nöthige Formel zu entwickeln. 227

Fig. 345.



Es ist schon im §. 219 erwähnt worden, dass man von einem Orte aus, wo der Barometerstand 760 mm beträgt, um 10,5 m steigen müsse, wenn das Barometer um 1 mm, also bis auf 759 mm (oder, was dasselbe ist, auf $760\left(\frac{759}{760}\right)$ mm) fallen soll. Ohne merklichen Fehler können wir annehmen, dass die ganze Luftschicht von 10,5 m Höhe überall gleich dicht sei, wir können annehmen, dass sie so dicht sei als am Boden. Es sei a, Fig. 345, ein Punkt auf dem Boden, b ein 10,5 m höher gelegener Punkt, und jeder der folgenden Punkte c, d, e u. s. w. liege immer wieder um 10,5 m höher als der nächsttiefere. Da nach dem Mariotte'schen Gesetze die Dichtigkeit der Luft dem Drucke proportional ist, unter welchem sie sich befindet, so muss die Luftschicht bc weniger dicht sein als ab, und zwar werden sich die Dichtigkeiten dieser Schichten verhalten wie die Barometerstände in a und b, d. h. die Dich-



tigkeit der Schicht bc ist $\frac{759}{760}$ von der Dichtigkeit der Schicht ab. Wenn man also von b nach c steigt, so wird das Barometer nicht abermals um 1 mm, sondern nur um $\left(\frac{759}{760}\right)$ mm fallen. Der Barometerstand in c ist demnach:

$$760\left(\frac{759}{760}\right) - \frac{759}{760} = \frac{759}{760}(760 - 1) = \frac{759^2}{760} = 760\left(\frac{759}{760}\right)^2 \text{mm}.$$

Auf diese Weise können wir weiter schliessen, dass sich die Dichtigkeiten der Schichten bc und cd verhalten wie die Barometerstände in b und c, dass also die Schicht cd $\left(\frac{759}{760}\right)$ mal leichter ist als die Schicht bc. Wenn also die Luftschicht bc einer Quecksilbersäule von $\frac{759}{760}$ mm das Gleichgewicht hält, so kann die Schicht cd nur eine Quecksilbersäule von $\frac{759}{760} \times \left(\frac{759}{760}\right) = \left(\frac{759}{760}\right)^2$ mm tragen, und wenn man sich von c bis d erhebt, so muss das Barometer um $\left(\frac{759}{760}\right)^2$ mm fallen. In d ist also der Barometerstand

$$760\left(\frac{759}{760}\right)^2 - \left(\frac{759}{760}\right)^2 = 760\left(\frac{759}{760}\right)^3 \text{mm}.$$

Dies reicht hin, um das Gesetz zu übersehen: in e wird der Barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^4$, in f wird er $760\left(\frac{759}{760}\right)^5$ sein etc. Wenn man sich also n mal 10,5 m über a erhebt, so ist der Barometerstand $760\left(\frac{759}{760}\right)^n$.

Ist an einem Orte der Barometerstand $B = 760\left(\frac{759}{760}\right)^m$, an einem anderen höher gelegenen $b = 760\left(\frac{759}{760}\right)^n$, so ist die Höhendifferenz beider Orte $(n - m)$ mal 10,5 m.

Aus den Gleichungen

$$B = 760\left(\frac{759}{760}\right)^m$$

$$b = 760\left(\frac{759}{760}\right)^n$$

folgt

$$\log B = \log 760 + m \,.\, \log\frac{759}{760},$$

$$\log b = \log 760 + n \,.\, \log\frac{759}{760}.$$

Zieht man die letzte Gleichung von der vorhergehenden ab, so kommt:

$$\log B - \log b = (m - n) \log \frac{759}{760}$$

und

$$\log B - \log b = (n - m)\ 0{,}0005718$$

$$n - m = \frac{\log B - \log b}{0{,}0005718}.$$

Da aber die Höhendifferenz H der beiden fraglichen Orte gleich 10,5 $(n - m)$ m ist, so haben wir auch

$$H = 10{,}5\ \frac{\log B - \log b}{0{,}0005718}$$

$$H = 18363\ (\log B - \log b)$$

oder endlich

$$H = 18363 \log \frac{B}{b} \text{m} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (A)$$

anzuwenden.

Da der Quotient $\frac{B}{b}$ und folglich auch die Differenz $\log B - \log b$ unverändert bleibt, mit welcher Einheit auch die Barometerstände B und b gemessen sein mögen, so kann man nach Belieben die Barometerstände B und b in Millimetern oder in Pariser Linien oder in irgend einem anderen Maasse ausdrücken.

Nach dieser Formel ist der mittlere Barometerstand einer Höhe

von	500 m	über	dem	Meere	714	mm
„	1000	„	„	„	670	„
„	2000	„	„	„	591	„
„	3000	„	„	„	522	„
„	4000	„	„	„	460	„
„	5000	„	„	„	406	„
„	6000	„	„	„	358	„
„	7000	„	„	„	316	„
„	8000	„	„	„	279	„
„	9000	„	„	„	246	„
„	10 000	„	„	„	217	„

Aus unserer Formel (A) ergiebt sich nun auch leicht, wie hoch man steigen müsse, wenn das Barometer auf die Hälfte des normalen Barometerstandes am Meere fallen soll. Setzt man $B = 760$, $b = 380$, so folgt $H = 5528$ m.

Erhebt man sich abermals um 5528 m, so muss das Barometer auf $^1/_4$ seines Standes am Meere fallen u. s. w.

Setzt man in unserer Gleichung $B = 760$ und $b = 1$, so folgt $H = 52\,900$. In dieser Höhe von nahe 53 km ist der Luftdruck bereits so gering, dass er nur noch eine Quecksilbersäule von 1 mm zu tragen im Stande ist; in dieser Höhe von etwa 8 Meilen über dem Meeresspiegel

ist also die Luft schon so verdünnt, wie wir es kaum mit den besten Luftpumpen erreichen können.

228 **Höhe der Atmosphäre.** So nimmt denn die Dichtigkeit der Luft mit zunehmender Erhebung über den Boden fortwährend ab, bis sie allmählich unmerklich wird und selbst auf die empfindlichsten physikalischen Instrumente nicht mehr zu wirken vermag. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedenfalls ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, dass die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe obere Grenze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmählicher Uebergang zur unendlichen Verdünnung statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 10 bis 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, dass diese Höhe sehr gering ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 1700 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältniss der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 m Durchmesser, welche von einer ungefähr 6 mm dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegebenen Grenze verschwindet die letzte Spur des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung, noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen herrscht und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

229 **Abweichung barometrisch berechneter Höhen von den wahren.** Die Gleichung (A) des §. 227 würde nur dann richtige Werthe für die Höhendifferenz H zweier nicht allzu weit von einander entfernten Orte geben, an welchen man gleichzeitig die Barometerstände B und b beobachtet hat, wenn die Temperatur der ganzen Luftsäule von der unteren Station bis zur Höhe der oberen gleich 0° wäre. Wäre die Temperatur dieser ganzen Luftsäule aber gleich T, d. h. gleich der Temperatur am unteren Beobachtungsorte, so würde die Höhendifferenz $H = 18\,363\,(1 + \alpha T) \log \frac{B}{b}$ sein, wenn α den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bezeichnet. Ist aber nun t die Temperatur der Luft an der oberen Station, so würde die verticale Luftsäule von dem unteren Beobachtungsorte bis zur Höhe des oberen sich gerade so verhalten wie eine Luftsäule von gleicher Höhe und der mittleren Temperatur $\frac{T + t}{2}$, wenn man annehmen könnte, dass die Temperatur von der unteren

Grenze dieser Luftsäule bis zur oberen gleichförmig abnähme. Für diesen Fall hätte man dann

$$H = 18\,363 \left(1 + \alpha \frac{T+t}{2}\right) log \frac{B}{b} \text{m} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (B)$$

Es ist dies die von Laplace aufgestellte Höhenformel, wenn man in derselben die unwesentliche Correction wegen der Veränderlichkeit der Schwere weglässt.

Ramond erhöhte den Coëfficienten dieser Formel auf 18 393, wofür Rühlmann später 18 400 annahm, so dass die Formel übergeht in

$$H = 18\,400 \left(1 + \alpha \frac{T+t}{2}\right) log \frac{B}{b} \text{m} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (C)$$

wofür er endlich setzte

$$H = 18\,400 \left(1{,}00157 + 0{,}00367 \frac{T+t}{2}\right) log \frac{B}{b} \text{m} \quad . \quad (D)$$

Wenn man nach einzelnen, gleichzeitig an zwei ungleich hohen Stationen angestellten Barometer- und Thermometerbeobachtungen die Höhendifferenz der beiden Stationen nach einer der obigen Formeln berechnet, so erhält man meist so stark von einander abweichende Resultate, dass die Differenzen weit über die durch Beobachtungsfehler erklärlichen Grenzen hinaus gehen. Ja selbst die aus mittleren Barometer- und Thermometerständen der beiden Stationen berechneten Höhenunterschiede weichen beträchtlich von den trigonometrisch genau bestimmten ab.

Schon Saussure's Beobachtungen am Col du géant zeigten, dass die aus Barometer- und Thermometer-Beobachtungen berechneten Höhen im Allgemeinen am Tage grösser sind als bei Nacht, dass sie also eine tägliche Periode zeigen. Ebenso ergaben die genauen Beobachtungen, welche Ramond in den Pyrenäen angestellt hatte, und auch die Vergleichung der gleichzeitig zu Clermont und zu Paris angestellten Beobachtungen, dass die barometrisch bestimmten Höhen sowohl von der Tageszeit als auch von der Jahreszeit abhängen.

Am eingehendsten hat R. Rühlmann diesen Gegenstand behandelt und die Resultate seiner Untersuchungen in einem Schriftchen „Die barometrischen Höhenmessungen u. s. w. Leipzig 1870" publicirt. Als Beobachtungsmaterial benutzte er sowohl die Barometer- und Thermometerbeobachtungen, welche er gleichzeitig mit einem Freunde im September 1864 auf dem Valtenberg bei Bischofswerda in Sachsen und dem nahegelegenen Neukirch angestellt hatte, als auch die gleichzeitigen Beobachtungen an den schweizerischen meteorologischen Stationen St. Bernhard und Genf, deren trigonometrisch bestimmte Höhendifferenz 2070 m beträgt.

Als Mittel aus den sechs Beobachtungsjahren 1860 bis 1866 ergeben sich für die beigeschriebenen Tagesstunden für Lufttemperatur und Barometerstand in den Monaten Januar und Juli die in folgender Tabelle zusammengestellten Werthe:

	Lufttemperatur		Barometerstand auf 0° red.		Berechn. Höhe	D
	Genf	St. Bernh.	Genf	St. Bernh.		
	T	*t*	*B*	*b*	*H*	
Januar 0h Mittag	+ 2,1° C.	— 6,5° C.	727,53	560,91	2069,2 m	— 0,8 m
2	+ 2,65	— 6,4	726,85	560,70	2068,5	— 1,5
4	+ 2,2	— 7,6	726,91	560,88	2059,2	— 10,8
6	+ 1,15	— 8,2	727,15	561,00	2055,8	— 14,2
8	+ 0,55	— 8,3	727,39	561,15	2053,5	— 16,5
10	+ 0,1	— 8,35	727,49	561,21	2051,8	— 18,2
12	— 0,3	— 8,5	727,34	561,08	2050,1	— 19,9
14	— 0,5	— 8,6	727,10	560,78	2050,3	— 19,7
16	— 0,6	— 8,6	726,96	560,55	2051,5	— 18,5
18	— 0,8	— 8,7	727,15	560,66	2051,1	— 18,9
20	— 0,7	— 8,4	727,42	560,93	2051,6	— 18,4
22	+ 0,6	— 7,6	727,65	561,20	2058,5	— 11,5
Mittel	+ 0,50	— 7,97	727,24	560,93	2056,0	— 14,0
Juli 0h	+ 22,1	+ 8,8	727,66	568,52	2099,9	+ 29,9
2	+ 23,0	+ 9,0	727,27	568,53	2099,1	+ 29,1
4	+ 22,9	+ 8,5	727,00	568,53	2093,7	+ 23,7
6	+ 21,8	+ 7,3	726,94	568,57	2084,2	+ 14,2
8	+ 19,5	+ 6,1	727,36	568,73	2074,0	+ 4,0
10	+ 17,5	+ 5,7	727,82	568,89	2068,3	— 1,7
12	+ 16,0	+ 5,1	727,97	568,77	2064,0	— 6,6
14	+ 14,5	+ 4,3	727,87	568,42	2059,3	— 10,7
16	+ 13,8	+ 3,8	727,85	568,14	2059,2	— 10,8
18	+ 15,0	+ 4,4	727,98	568,14	2067,0	— 3,0
20	+ 18,4	+ 5,9	728,13	568,34	2083,7	— 13,7
22	+ 20,4	+ 7,9	727,97	568,45	2094,8	+ 24,8
Mittel	+ 18,13	+ 6,56	727,71	568,0	2079,0	+ 9,0

Das Rühlmann'sche Werkchen enthält die entsprechenden Tabellen für alle 12 Monate des Jahres.

Die sechste Verticalreihe obiger Tabelle enthält unter *H* die aus den in gleicher Horizontalreihe stehenden Daten berechnete Höhe von St. Bernhard über Genf, während die letzte Verticalreihe unter *D* angiebt, um wie viel die barometrisch berechnete Höhe grösser (+) oder kleiner (—) ist, als die trigonometrisch bestimmte.

In dieser Tabelle tritt nun die schon erwähnte tägliche Periode sehr deutlich hervor; das Maximum der berechneten Höhen fällt auf die Mittagsstunde, das Minimum dagegen auf die Nachtstunden und zwar in den meisten Monaten auf 4 Uhr Morgens. Ferner ergiebt sich aus

der Betrachtung dieser Tabellen, dass in unseren Zonen die günstigsten Zeiten zur Anstellung barometrischer Höhenmessungen in den verschiedenen Monaten folgende sind:

Im Januar:	Mittags 12^h				
Februar	Vormittags	10^h	und	Nachmittags	4^h
März	„	8	„	„	6
April	„	7	„	„	7
Mai	„	7	„	„	7
Juni	„	6	„	„	9
Juli	„	6	„	„	9
August	„	7	„	„	8
September	„	8	„	„	6
October	„	10	„	„	4
November	„	11	„	„	2
December	Nachmittags 1^h				

Der Unterschied zwischen dem täglichen Maximum und Minimum der berechneten Höhen beträgt für den Monat

Januar	19,1 m	Juli	40,7 m
Februar . . .	39,8 „	August	40,6 „
März	32,4 „	September . .	35,7 „
April	41,8 „	October . . .	26,1 „
Mai	37,1 „	November . .	18,5 „
Juni	35,9 „	December . . .	11,1 „

Die Amplitude, um welche die berechneten Werthe der Höhendifferenz zwischen St. Bernhard und Genf schwanken, sind also am kleinsten in den Monaten December, November und Januar, am grössten im April, Juli und August.

Die aus den Tages- und Monatsmitteln der meteorologischen Beobachtungen berechneten Höhen zeigen eine jährliche Periode, wie man aus der folgenden Tabelle (S. 676) ersieht, welche auch zeigt, dass die Amplitude der jährlichen Periode viel kleiner ist, als die der täglichen.

Die Jahresmittel der meteorologischen Beobachtungen geben Höhen, welche sich von den wahren Werthen nur wenig entfernen.

Die Monatsmittel geben im Winter zu kleine, im Sommer zu grosse Höhen.

Weichen selbst die aus Mittelwerthen der Barometer- und Thermometer-Beobachtungen berechneten Höhenunterschiede nicht unbedeutend von den wahren ab, so lässt sich erwarten, dass dies für isolirte Beobachtungen noch weit mehr der Fall sein wird und zwar selbst für Orte, deren Entfernung in horizontaler Richtung nur gering ist. So finden wir z. B. im 4. Jahrgange der Schweizerischen meteorologischen Beobachtungen für den 26. December 1866 Morgens 7 Uhr

	Temperatur		Barometerstand		Berechn. Höhe	D
	Genf	St. Bernh.	Genf	St. Bernh.		
	T	t	B	b	H	
Januar	+ 0,50	— 7,97	727,24	560,93	2056,0	— 14,0
Februar	+ 0,91	— 9,12	727,23	560,37	2061,2	— 8,8
März	+ 4,63	— 7,82	723,08	558,02	2069,2	— 0,8
April	+ 9,82	— 2,56	726,69	563,52	2070,9	+ 0,9
Mai	+ 14,50	+ 1,63	726,10	565,35	2072,4	+ 2,4
Juni	+ 16,64	+ 3,82	727,07	566,83	2078,5	+ 8,5
Juli	+ 18,75	+ 6,39	727,66	568,50	2079,5	+ 9,0
August	+ 18,13	+ 6,56	727,71	568,71	2075,0	+ 5,0
September . . .	+ 14,62	+ 3,82	728,35	568,06	2068,0	— 2,0
October	+ 10,56	+ 0,17	726,59	565,21	2059,8	— 10,2
November . . .	+ 5,20	— 4,64	725,60	561,64	2060,6	— 9,7
December . . .	+ 0,65	— 8,13	727,55	561,13	2056,7	— 13,3
Mittel . . .	+ 9,57	— 1,47	726,74	564,02	2067,2	— 2,8

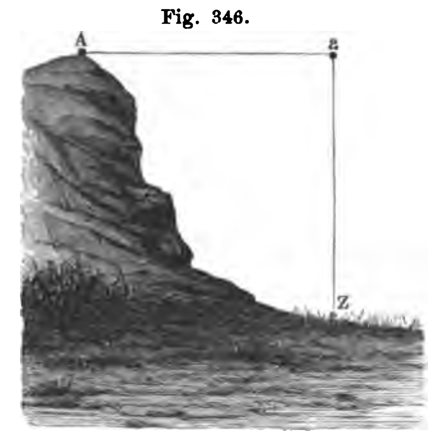
in Zürich (Sternwarte)	auf dem Uetliberg
$B = 726{,}1$ mm	$b = 692{,}2$ mm
$T = -\ 6{,}8^0$ C.	$t = +\ 1{,}5^0$ C.

woraus sich aus Gl. (C) Seite 673 ergiebt

$$H = 377 \text{ m},$$

während der wahre Höhenunterschied zwischen der Züricher Sternwarte und dem Uetliberg 394 m beträgt. Die berechnete Höhe ist also um 17 m, also um $^1/_{23}$ des wahren Höhenunterschiedes zu klein, während der kleinste der in der Tabelle auf Seite 674 zusammengestellten berechneten Höhenunterschiede zwischen Genf und St. Bernhard nur um $^1/_{135}$ des wahren Höhenunterschiedes falsch ist.

Fig. 346.



Die Ursache der Abweichung der barometrisch bestimmten Höhen von den wahren liegt, wie Rühlmann nachgewiesen hat, darin, dass die Wärme der Luftsäule über der unteren Beobachtungsstation sich nicht so rasch ändert, wie das arithmetische Mittel der Thermometerablesungen an den oberen und unteren Stationen. Es

sei A, Fig. 346, die obere, Z die untere der beiden Stationen und a ein Punkt, welcher mit A in gleicher Höhe vertical über Z liegt, so setzt man bei der Berechnung nach der Gleichung

$$H = 18\,400\,(1 + \alpha\tau)\,log\,\frac{B}{b} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (E)$$

voraus, dass

$$\tau = \frac{T+t}{2},$$

d. h. dass die mittlere Temperatur der Luftsäule Za gleich sei dem arithmetischen Mittel zwischen den beiden gleichzeitig in Z und in A beobachteten Temperaturen. Setzt man in Gl. (E) für H die wahre Höhe, so ergiebt sich für die wahre mittlere Temperatur der Luftsäule Za der Werth:

$$\tau = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{H}{18\,400\,log\,\frac{B}{b}} - 1\right) \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (F)$$

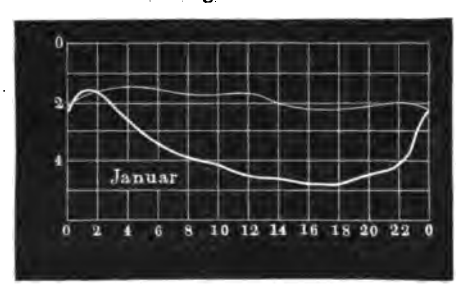
Die nach Gl. (F) berechneten Werthe von τ weichen aber wesentlich von den entsprechenden Werthen von $\frac{T+t}{2}$, die wir als die beobachteten mittleren Temperaturen bezeichnen wollen, ab, wie man aus der folgenden Zusammenstellung für die Monate Januar und Juli ersieht:

	Mittlere Lufttemperatur			Mittlere Lufttemperatur	
	Beobachtete $\frac{T+t}{2}$	Wahre τ		Beobachtete $\frac{T+t}{2}$	Wahre τ
Januar 0h	— 2,2° C.	— 2,1	Juli 0h	15,5	11,4
2	— 1,8	— 1,9	2	16,0	12,0
4	— 2,7	— 1,5	4	15,7	12,4
6	— 3,5	— 1,6	6	14,5	12,6
8	— 3,8	— 1,7	8	12,8	12,3
10	— 4,1	— 1,7	10	11,6	11,9
12	— 4,4	— 1,7	12	10,5	11,4
14	— 4,5	— 2,0	14	9,4	10,9
16	— 4,6	— 2,2	16	8,8	10,3
18	— 4,7	— 2,2	18	9,7	10,1
20	— 4,5	— 2,1	20	12,1	10,3
22	— 4,1	— 2,0	22	14,1	10,8
Mittel	— 3,7	— 1,9	Mittel	12,5	11,3

Nach dieser Tabelle ist in Fig. 347 und Fig. 348 (a. f. S.) der tägliche Gang der wahren und der beobachteten mittleren Lufttemperatur für die Monate Januar und Juli graphisch dargestellt und zwar stellt die stark

ausgezogene Curve den Gang der beobachteten, die fein ausgezogene dagegen den Gang der wahren Lufttemperatur dar. Die beiden Curven schneiden sich für diejenigen Stunden, für welche die barometrisch berechnete Höhe mit der trigonometrisch bestimmten übereinstimmt.

Fig. 347.

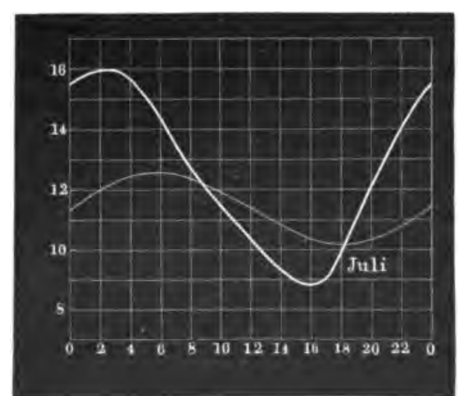


Vergleicht man auf die angegebene Weise die wahre mittlere Lufttemperatur der Monate mit der beobachteten, so findet man die Werthe der folgenden Tabelle (a. f. S.).

Man erkennt aus dieser Tabelle, dass sich die Luft bei weitem nicht in dem Maasse und nicht so rasch erwärmt, wie es die Thermometer an den Beobachtungsstationen zeigen, sie nimmt nur wenig und gleichsam zögernd Antheil an den täglichen und jährlichen Schwankungen der Temperatur an der Erdoberfläche.

Die Maxima und Minima der Lufttemperatur treten sowohl bei der täglichen als auch bei der jährlichen Periode später ein, als die an den Thermometern beobachteten Maxima und Minima. So sieht man z. B. in Fig. 348, dass das beobachtete tägliche Temperaturmaximum im Juli auf 2 Uhr, das Maximum der wahren Lufttemperatur aber erst auf 6 Uhr Nachmittags fällt, während die Zeit des wahren Minimums ungefähr um zwei Stunden später eintritt als die des beobachteten.

Fig. 348.



Der Grund dieser Erscheinung ist offenbar darin zu suchen, dass der Erdboden eine sehr grosse Absorptionsfähigkeit für Wärmestrahlen besitzt, dass er sich also unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stark erwärmt, durch nächtliche Strahlung dagegen stark abkühlt, während die Luft, als ein sehr diathermaner Körper, sich unter dem directen Einfluss der Sonnenstrahlen nur wenig erwärmt, dagegen aber auch Nachts durch Strahlung wenig Wärme abgiebt. Die an den Beobachtungsstationen angebrachten Thermometer sind nun sehr von der strahlenden Wärme des Erdbodens und der Umgebung influirt, sie werden also den bedeutenderen und rascheren Temperaturschwankungen der Erdoberfläche folgen müssen und können nicht den wahren Gang der Temperatur in höheren Luftschichten angeben.

Monat	Mittlere Lufttemperatur	
	Beobachtete $\frac{T+t}{2}$	Wahre t
Januar	— 3,6	— 1,8
Februar	— 4,1	— 3,0
März	— 1,6	— 1,5
April	+ 3,1	+ 3,5
Mai	+ 8,0	+ 7,7
Juni	+ 10,2	+ 9,1
Juli	+ 12,5	+ 11,3
August	+ 12,3	+ 11,6
September	+ 9,2	+ 9,5
October	+ 5,3	+ 6,7
November	— 0,3	+ 1,6
December	— 4,4	— 2,0
Mittel	+ 4,0	+ 4,39

Ursachen der Barometerschwankungen. Die letzte Ursache aller Barometerschwankungen ist in der ungleichen und sich stets ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung; bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt. 230

Dass wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, dass sie in den Tropen, wo die Temperatur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind; in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr gross; ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

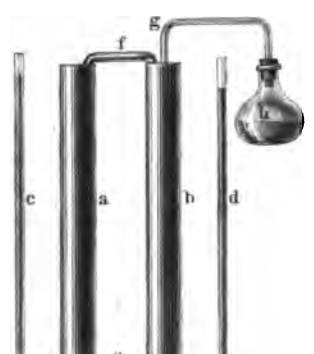
Im Allgemeinen kann man leicht darthun, dass die ungleiche stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Grösse des Luftdrucks zur Folge haben muss.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche

auf den kälteren Umgebungen ruht, die in die Höhe gestiegene Luft wird also oben nach den Seiten hin abfliessen, der Druck der Luft muss also an den wärmeren Orten abnehmen, das Barometer wird daselbst sinken müssen; in den kälteren Umgebungen aber muss das Barometer steigen, weil sich die in den oberen Regionen der erwärmten Gegenden seitwärts abfliessende Luft über die Atmosphäre der kälteren Gegenden verbreitet.

Es lässt sich dies durch den Apparat Fig. 349 anschaulich machen. *a* und *b* sind Blechröhren von etwa 60 cm Höhe, welche unten bei *e* durch ein Stück Thermometerrohr verbunden sind. Mit der Blechröhre *a* ist die Glasröhre *c*, mit der Röhre *b* ist die Glasröhre *d* in Verbindung. Wenn man in eine der Röhren *b* oder *a* Wasser giesst, so wird dasselbe nur langsam durch die enge Röhre bei *e* in die andere Röhre fliessen können. Wenn man beide Röhren *a* und *b* fast bis oben füllt und sie dann oben durch ein hinlänglich weites Heberrohr *f* in Verbindung setzt, so muss sich das Wasser in allen vier Röhren, *c*, *a*, *b* und *d*, gleich hoch stellen. Nun aber geht durch das Blechrohr *b* von oben bis unten ein unten offenes Glasrohr *gi* hindurch, durch welches die in dem Kolben *h* mittelst einer Weingeistlampe entwickelten Wasserdämpfe hindurchgeleitet werden. In unserer Figur ist der Kolben *h* neben die Röhre *d* gezeichnet worden; es ist aber besser, wenn er, was sich in der Figur nicht so gut hätte darstellen lassen, hinter *b* sich befindet.

Fig. 349.



Da das Rohr *gi* mit kaltem Wasser umgeben ist, so werden die durchstreifenden Dämpfe verdichtet, und das Wasser in *b* wird erwärmt. Wenn nun zwischen *a* und *b* gar keine Verbindung wäre, so würde die Wassersäule in *b* steigen, ohne dass das Wasser in *d* steigt, weil *b* erwärmt wird, *d* aber kalt bleibt; da aber die Röhren *b* und *a* oben durch die Heberröhre *f* verbunden sind, so kann das Wasser in *b* nicht höher stehen als in *a*, ein Theil des in *b* erwärmten Wassers fliesst nach *a* über, und in Folge dessen sinkt das Wasser in *d*, in *c* aber steigt es, weil zu dem schon in *a* vorhandenen Wasser noch neues durch den Heber *f* hinzukommt.

Wäre *e* eine hinlänglich weite Röhre, so würde das Wasser in allen vier Röhren stets gleich hoch bleiben, weil in dem Maasse, als warmes Wasser durch *f* nach *a* fliesst, unten umgekehrt kaltes Wasser durch *e* nach *b* fliessen, weil sich also das gestörte Gleichgewicht in jedem Augenblicke wieder herstellen würde; dies ist aber nicht möglich, weil die Röhre *e* zu enge ist. Ebenso wird in erkalteten Gegenden der Luftdruck

zu-, in erwärmten abnehmen, weil die Luft in den unteren Regionen nicht schnell genug der erwärmten Gegend zuströmen kann, um das gestörte Gleichgewicht sogleich wieder herzustellen.

Eine anderweitige wesentliche Ursache für die Barometerschwankungen liegt in dem wechselnden Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Die Atmosphäre enthält immer mehr oder weniger Wasserdämpfe, und da diese specifisch leichter sind als die trockene Luft, so ist auch die mit Wasserdampf erfüllte Luft specifisch leichter als die trockene. Es wird also bei gleicher Höhe der Atmosphäre der Luftdruck um so geringer sein, je mehr Wasserdämpfe sich in der Atmosphäre befinden. Daraus würde folgen, dass jedesmal, wenn die Wasserdämpfe sich durch Wolken- oder Regenbildung condensiren, das Barometer steigt. Indessen kommt es häufig vor, dass die Condensation der Wasserdämpfe so rasch vor sich geht, dass ein sofortiger Ersatz durch trockene Luft nicht eintreten kann; in diesem Falle wird auch während der Condensation der Wasserdämpfe zunächst ein Fallen des Barometers bewirkt, und noch dadurch beschleunigt werden, dass durch die Condensation der Wasserdämpfe Wärme entwickelt wird.

Atmosphärische Ebbe und Fluth und Einfluss des Mondes auf das Wetter. Nachdem es Newton gelungen war, die Erscheinungen der Ebbe und Fluth der grossen Oceane auf die Massenanziehung der Sonne und des Mondes zurückzuführen, lag die Idee nahe, dass diese beiden Himmelskörper auch eine atmosphärische Ebbe und Fluth veranlassen müssen. Eine atmosphärische Fluth wird aber das Barometer steigen, eine atmosphärische Ebbe wird es sinken machen, das Barometer wird uns also Auskunft über das Vorhandensein der atmosphärischen Ebbe und Fluth und über den Einfluss geben, welchen dieselbe auf die Grösse des Luftdrucks ausübt. 231

Die durch die Sonnenmasse erzeugten Veränderungen des Barometerstandes fallen so vollständig mit den anderweitigen täglichen Variationen zusammen, dass sie nicht davon getrennt werden können. Die Mondfluth fällt aber zur Zeit der Syzygien mit der Sonnenfluth zusammen, während zur Zeit der Quadraturen die Mondebbe mit der Sonnenfluth zusammenfällt. Der Einfluss, welchen die Massenanziehung des Mondes auf den Barometerstand ausübt, wird also darin bestehen, dass derselbe zur Zeit der Syzygien etwas erhöht, zur Zeit der Quadraturen etwas erniedrigt erscheint.

Aus den von Bouvard auf der Pariser Sternwarte von 1815 bis 1823 dreimal täglich (9 Uhr Morgens, 12 Uhr Mittags und 3 Uhr Nachmittags) angestellten Beobachtungen berechnete La Place, dass der Betrag der atmosphärischen Mondfluth nur 0,0544 mm betrage, ein Werth, welcher sich noch auf 0,0176 mm reducirte, als Bouvard nach den La Place'schen Formeln diese Grösse aus den von 1815 und 1827 fortgesetzten Barometerbeobachtungen ableitete.

Auch O. Eisenlohr fand, 22jährige Beobachtungen der Pariser Sternwarte zusammenstellend, dass der Einfluss des synodischen Mondumlaufs auf den Barometerstand sehr unbedeutend sei, ja nach seiner auf S. 185 des LX. Bandes von Poggendorff's Annalen gegebenen Zusammenstellung ist der mittlere Barometerstand für Neumond und Vollmond selbst noch um 0,008 mm tiefer, als für das erste und letzte Viertel.

Andere Untersuchungen über diesen Gegenstand sind von Kreil für Prag, Sabine für St. Helena, Elliot für Singapore, Neumayer für Melbourne, Bergsma für Batavia, Lüdicke für Gotha und Streintz für Greenwich ausgeführt. Das Gesammtresultat geht dahin, dass in den Tropen die Mondfluth mit grösserer Sicherheit nachweisbar ist als in höheren Breiten, aber auch dort nur höchstens 0,1 mm beträgt. In mittleren und höheren Breiten verschwindet der kleine Einfluss der Mondfluth vollständig unter den übrigen Barometerschwankungen.

Hier dürfte wohl der geeignetste Ort sein, den Einfluss des Mondes auch auf andere meteorologische Erscheinungen zu betrachten. Von denjenigen, welche einen Einfluss des Mondes auf die Witterung behauptet haben, ist theilweise seine Anziehungskraft gegen die Atmosphäre, theilweise seine Wärmeausstrahlung als Ursache für Witterungsänderungen angesehen worden. Die Anziehungskraft sollte die Höhe der Atmosphäre und damit den Barometerstand beeinflussen, und da die Witterungsverhältnisse mit dem Barometerstande in engem Zusammenhange stehen, so glaubte man hieraus auf einen Einfluss des Mondes auf das Wetter schliessen zu müssen. Dass diese Ansicht eine irrige ist, geht aber offenbar schon aus dem äusserst geringen Betrage der Mondfluth in der Atmosphäre hervor.

Andererseits hat man geglaubt, dass die vom Monde reflectirte Sonnenwärme eine auflösende Wirkung auf die Wolken ausübe. Allerdings haben directe Versuche gezeigt, dass auf der Erdoberfläche die Wärmestrahlen des Mondes zwar nachweisbar, aber von äusserst geringem Betrage sind, indessen wurde hiergegen eingewandt, dass die Wärmestrahlen durch die Atmosphäre beinahe vollständig absorbirt werden und demnach in grösseren Höhen immerhin beträchtliche Wirkung ausüben können. Ob dies der Fall ist, darüber können nur zahlreiche meteorologische Beobachtungen Aufschluss geben. Eine sehr sorgfältige Zusammenstellung aller diese Frage betreffenden Untersuchungen ist von W. J. van Bebber in seinem „Handbuche der ausübenden Witterungskunde“, Stuttgart 1885, I. Theil, gegeben, und als Endresultat gefunden worden, dass ein Einfluss des Mondes weder auf die Regenmenge, noch auf die Windrichtung, Bewölkung, Gewitterbildung und Temperatur ziffernmässig nachweisbar, und dass es demnach durchaus verfehlt und jeder Wissenschaftlichkeit widersprechend ist, auf Mondeinflüsse irgend welche Wetterprognosen zu gründen.

Einfluss der Sonnenflecken auf die Witterung. In früheren Zeiten nahm man an, entsprechend dem Glauben an den Einfluss des Mondes auf die Witterung, dass eine 19 jährige Periode der Witterungserscheinungen stattfände, weil die gegenseitige Stellung des Mondes und der Sonne eine 19 jährige Periode in der Weise hat, dass alle 19 Jahre die gleichen Mondviertel auf die gleichen Jahrestage fallen. In neuerer Zeit ist man dagegen vielfach zu der Ansicht übergegangen, dass die Witterungsverhältnisse eine 11 jährige Periode haben, wie die Sonnenflecken und magnetischen Elemente. 232

In welcher Weise die Sonnenflecken das Wetter beeinflussen sollen, müssen wir zunächst dahingestellt sein lassen, da uns eine genaue Kenntniss über die wahre Natur der Sonnenflecken fehlt. Es müssen also zunächst möglichst viele statistische Zusammenstellungen gemacht werden, aus denen man darauf schliessen kann, ob wirklich ein Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den Witterungsverhältnissen nachweisbar ist. Wie vorsichtig man aber bei der Verwerthung solcher Zusammenstellungen sein muss, und wie leicht aus ihnen falsche Schlüsse gezogen werden können, geht daraus hervor, dass einige Meteorologen die wärmeren Jahre mit einer geringeren, andere dagegen mit einer grösseren Zahl von Sonnenflecken in Verbindung gebracht haben. Besonders sorgfältige Untersuchungen über diesen Gegenstand sind von Köppen, Hahn und Fritz ausgeführt und eine sehr vollständige Zusammenstellung über alle nach dieser Richtung angestellten Untersuchungen in dem bereits im vorigen Paragraphen erwähnten Werke von v. Bebber gegeben worden.

Köppen fand für die Jahre 1816 bis 1854 eine sehr gute Uebereinstimmung zwischen dem Gange der Temperatur und der Zahl der Sonnenflecken, in der Weise, dass die höchsten Jahrestemperaturen der geringsten Fleckenzahl entsprachen. In den Tropen trat das Maximum der Wärme $^1/_2$ bis $1^1/_2$ Jahre vor dem Fleckenminimum ein, während es sich ausserhalb der Wendekreise gegen das letztere verspätete, in den vierziger Jahren sogar bis zu drei Jahren. Dabei wurde die Uebereinstimmung in höheren Breiten eine geringere als in den Tropen und war zeitweise nicht mehr zu erkennen. Andere Jahre ergaben dagegen ein wesentlich hiervon verschiedenes Resultat; theilweise war ein Zusammenhang zwischen der Zahl der Sonnenflecken und der Jahrestemperatur gar nicht zu erkennen, und in der Zeit von 1779 bis 1816 fielen sogar die höchsten Temperaturen mit der grössten Zahl der Sonnenflecken zusammen.

Hahn untersuchte ausser den Jahrestemperaturen noch die Temperaturen der verschiedenen Jahreszeiten, und fand unter anderem, dass warme Sommer häufiger zur Zeit der Minima, kühlere zur Zeit der Maxima der Sonnenflecken stattfinden, dass aber die wärmeren Sommer den Minimis um mehrere Jahre nachfolgen, und dass überhaupt eine geringere Thätigkeit auf der Sonne eine höhere Temperatur auf der

Erdoberfläche bedingt. Auch er fand indessen, dass das Verhältniss am Ende des vorigen und Anfange des jetzigen Jahrhunderts ein umgekehrtes war.

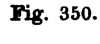
Fritz berichtet in seinem Werke: „Die wichtigsten periodischen Erscheinungen der Meteorologie und Kosmologie"; Leipzig 1889, dass er unter Benutzung einer grossen Zahl von Beobachtungen gefunden habe, dass in mittleren Breiten niedrige Wintertemperaturen am häufigsten zur Zeit der Fleckenmaxima, am seltensten zur Zeit der Minima, die niedrigsten Sommertemperaturen dagegen etwas häufiger zur Zeit der Fleckenminima eintreten.

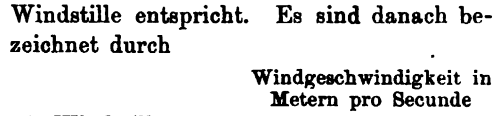
Bei so unsicheren und widersprechenden Resultaten, wie sie die directen Temperaturbeobachtungen ergeben, kann es nicht überraschen, wenn in Erscheinungen, welche nicht allein von der Temperatur, sondern auch von anderen Factoren abhängen, ein Zusammenhang mit der Periode der Sonnenflecken ebenfalls nicht nachweisbar ist. Dennoch hat man 11 jährige Perioden in der Qualität und Quantität der jährlichen Weinerträge, in guten und schlechten Ernten, der Ergiebigkeit der Fischerei, in Hungersnoth und Pestepidemien, ja selbst in politischen Umwälzungen und Cometenentdeckungen finden wollen. Wir werden auf diese phantasiereichen Speculationen hier nicht näher eingehen, sondern nur bemerken, dass man auch in der Höhe des Luftdruckes, in der Häufigkeit der Cyklonen, in den jährlichen Regenmengen, sowie Gewittern und Hagelfällen zuweilen einen Zusammenhang mit der Zahl der Sonnenflecken hat finden wollen, dass aber alle in dieser Richtung abgeleiteten Resultate höchst unsicher und von keiner praktischen Bedeutung sind.

233 **Messung der Richtung und Geschwindigkeit des Windes.** Zur Feststellung der Windrichtung bedient man sich allgemein der sogenannten Windfahnen, welche aus zwei Metallscheiben *a* (Fig. 350) bestehen, die einen nicht zu grossen Winkel mit einander bilden, sich leicht um eine verticale Axe drehen und durch ein Gegengewicht *b* vollständig balancirt sind. Diese Fahne muss natürlich möglichst hoch aufgestellt werden, damit der Wind von allen Seiten frei dagegen wehen kann, ohne dass durch Gebäude oder Bäume, welche sich in der Nähe befinden, seine Richtung abgelenkt wird. Unter der Fahne befindet sich häufig eine oder mehrere horizontale Eisenstangen, durch welche die hauptsächlichen Himmelsrichtungen bezeichnet werden.

Ueber der Fahne wird bisweilen noch eine Vorrichtung *S* angebracht, an welcher die Stärke des Windes abgelesen werden kann. Eine dünne Metalltafel *cdef* dreht sich leicht um eine Axe *cd*, und wird durch den Druck des Windes, welcher in der Richtung *ba* weht, um einen Winkel gehoben, dessen Grösse von der Stärke des Windes abhängt und an der Scala *g* abgelesen werden kann. Die Eintheilung der Scala ist gewöhnlich eine solche, dass eine einfache Relation zwischen ihr und der sogenannten

Beaufort-Scala der Windstärke stattfindet. Nach der letzteren wird die Windstärke in 12 Stufen, 1 bis 12 eingetheilt, während 0 der völligen





Windstille entspricht. Es sind danach bezeichnet durch

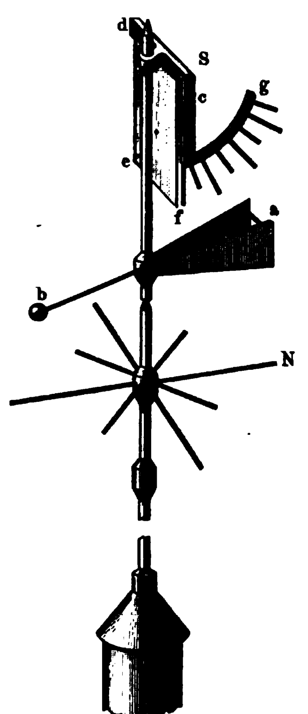


Fig. 350.

	Windgeschwindigkeit in Metern pro Secunde
0. Windstille	0
1. Leiser Zug	2
2. Leichter Wind . . .	3 bis 4
3. Schwacher Wind . .	5
4. Mässiger Wind . .	7
5. Frischer Wind . .	8 bis 9
6. Starker Wind . . .	10 „ 11
7. Harter Wind . . .	12
8. Stürmisch	14
9. Sturm	15 bis 16
10. Starker Sturm . . .	18
11. Heftiger Sturm . .	25
12. Orkan	40

Man kann sich die Regel merken, dass die Zahlen der Beaufort-Scala, mit 1,7 multiplicirt, genähert die Windgeschwindigkeit in Metern angeben, doch trifft diese Regel bei starkem Sturme (10 bis 12 der Scala) nicht mehr zu. Umgekehrt erhält man aus der Windgeschwindigkeit in Metern pro Secunde durch Multiplication mit 0,6 die entsprechende Zahl der Beaufort-Scala, während aus der Windgeschwindigkeit in Seemeilen pro Stunde die Zahlen der Beaufort-Scala durch Multiplication mit 0,3 erhalten werden.

Die beschriebene Windstärketafel kann nur ungenaue Resultate geben und versagt bei sehr starkem Winde, durch dessen Druck sie sich beinahe horizontal stellt, vollständig. Eine der einfachsten Registrirvorrichtungen für die Windstärke ist in Fig. 351 (a. f. S.) gezeichnet. Um eine verticale Axe AB dreht sich ein sogenanntes Schalenkreuz, d. h. ein Kreuz von vier eisernen Stäben, an deren Enden kupferne halbe Hohlkugeln derartig befestigt sind, wie die Figur zeigt. Von welcher Seite auch der Wind weht, so wird er immer das Schalenkreuz in derselben Richtung in Drehung versetzen, und zwar wird die Geschwindigkeit der Drehung von der Stärke des Windes abhängen. Die Axe AB ist durch ein Getriebe mit mehrfachen Uebersetzungen mit einer Welle in Verbindung, welche eine Schraube ohne Ende trägt, und mittelst derselben ein Zeigerwerk in Bewegung setzt, an welchem jederzeit die Zahl der seit der letzten Ablesung von dem Schalenkreuz ausgeführten Umdrehungen abgelesen werden kann. Um hieraus die Windgeschwindigkeit zu erhalten, ist

natürlich noch eine besondere Untersuchung des Apparates, oder wenigstens eine Vergleichung mit einem bereits untersuchten erforderlich. Auf der Seewarte in Hamburg wird die Untersuchung der Anemometer in der Weise ausgeführt, dass sie mittelst einer caroussel-artigen Vorrichtung auf dem Umfange eines Kreises von grossem Radius in rasche Bewegung von genau bekannter Geschwindigkeit versetzt werden. Durch den entgegenwirkenden Luftwiderstand, der einem Winde von derselben Geschwindigkeit entspricht, welche der Apparat erlangt hat, wird das Schalenkreuz in Bewegung gesetzt und es kann demnach beobachtet werden, wie viele Umdrehungen des Kreuzes einer bestimmten Windgeschwindigkeit entsprechen.

Fig. 351.



Andere Anemometer sind so construirt, dass durch sie der Druck des Windes gegen eine verticale Platte gemessen wird. Der Wirkung des Winddruckes wirkt eine an der Rückseite der Platte befindliche Feder entgegen, und aus der Grösse, um welche die Feder durch den Wind zusammengedrückt wird, schliesst man auf die Stärke des letzteren.

234 **Entstehung der Winde.** Wenn man im Winter die in einen kalten Raum führende Thür eines geheizten Zimmers etwas öffnet und eine brennende Kerze an das obere Ende des Spaltes hält, wie man Fig. 352 sieht, so zeigt die nach aussen gerichtete Flamme einen von dem warmen Zimmer nach dem kalten Raume gerichteten Luftstrom an. Rückt man nun mit der Kerze mehr und mehr herunter, so stellt sich die Flamme immer mehr aufrecht, ungefähr in der halben Höhe der Oeffnung steht sie ganz still, sie ist hier nicht durch Luftströmungen afficirt; bringt man sie aber noch weiter herunter, so wird die Flamme von aussen nach innen getrieben. Man sieht also, dass die erwärmte Luft oben aus- und dass dagegen unten die kalte Luft in das Zimmer einströmt.

Wie hier im Kleinen die ungleiche Erwärmung der beiden Räume Luftströmungen veranlasst, so ist auch die ungleiche stets wechselnde Erwärmung der Erdoberfläche und des über ihr schwebenden Luftmeeres die Ursache der Luftströmungen, die wir Winde nennen. Auch im

Grossen sieht man die Luft in den stärker erwärmten Gegenden aufsteigen und in der Höhe nach den kälteren abfliessen, während unten die Luft von den kälteren Gegenden den wärmeren zuströmt.

Ein einfaches Beispiel geben uns die Land- und Seewinde, welche man häufig an den Meeresküsten, namentlich aber auf den Inseln wahrnimmt. Einige Stunden nach Sonnenaufgang erhebt sich ein von dem Meere nach der Küste gerichteter Wind, der Seewind, weil das feste Land unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stärker erwärmt wird als das Meer; über dem Lande steigt die Luft in die Höhe und fliesst oben nach dem Meere hin ab, während unten die Luft vom Meere gegen die Küsten strömt. Dieser Seewind ist anfangs schwach und nur an den Küsten selbst fühlbar, später nimmt er zu und zeigt sich dann auf dem Meere schon in grösserer Entfernung von der Küste; zwischen 2 und 3 Uhr Nachmittags wird er am stärksten, nimmt dann wieder ab, und gegen Untergang der Sonne tritt eine Windstille ein. Dann erkaltet Land und Meer durch die Wärmestrahlung gegen den Himmelsraum, das Land erkaltet aber rascher als das Meer und nun strömt die Luft in den unteren Regionen vom Lande nach dem Meere, während in den oberen Luftregionen eine entgegengesetzte Strömung stattfindet.

Fig. 352.



Dem eben Gesagten zufolge sind die Land- und Seewinde locale, an eine tägliche Periode gebundene Erscheinungen, welche nur dann rein auftreten können, wenn sie nicht durch die allgemein herrschenden Luftströmungen gestört oder doch modificirt werden.

Selbst den Ufern grösserer Landseen, z. B. denen des Bodensees, sind die Land- und Seewinde nicht fremd; sehr merklich treten sie auch an den grossen nordamerikanischen Landseen auf.

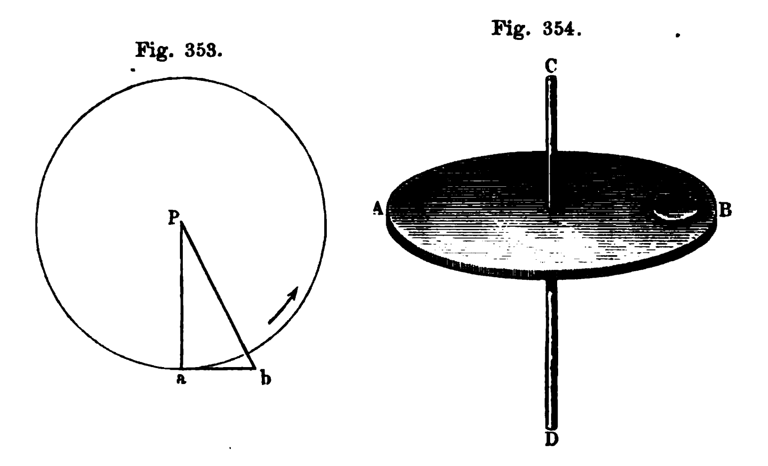
Die in Hochgebirgen auftretenden Morgen- und Abendwinde, welche man unter dem Namen der Thalwinde zusammenfassen kann, sind eine den Land- und Seewinden verwandte Erscheinung. Wenn in den Morgenstunden die Thalsohle und die sie einschliessenden Bergwände durch die Sonnenstrahlen mehr und mehr erwärmt werden, theilt sich diese Erwärmung zunächst den unteren Luftschichten mit, welche dadurch ausgedehnt längs der Bergabhänge aufsteigen und so den Morgenwind veranlassen, während nach Sonnenuntergang die an den rascher erkaltenden Berggipfeln abgekühlte Luft sich längs der Bergabhänge in das Thal herabsenkt.

Zu den Ursachen, welche Luftströmungen, ja die heftigsten Stürme erzeugen können, ist auch eine schnelle Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes zu zählen. Wenn man bedenkt, welch' eine ungeheure Wassermasse während eines Platzregens in wenigen Minuten

zur Erde fällt, welch' ungeheures Volumen dies Wasser eingenommen haben muss, als es noch in Dampfgestalt in der Atmosphäre schwebte, so ist klar, dass durch die plötzliche Condensation dieser Wasserdämpfe eine bedeutende Luftverdünnung bewirkt wird und dass die Luft von allen Seiten her mit Gewalt in den verdünnten Raum eindringen muss, um so mehr, als da, wo die Condensation der Wasserdämpfe stattfindet, die Temperatur der Luft durch die frei werdende Wärme erhöht und dadurch ein kräftig aufsteigender Luftstrom erzeugt wird.

Wir wollen nun zunächst untersuchen, ob allein durch die Wirkung der Erdrotation Bewegungen in der Atmosphäre oder in den Meeren entstehen können. Da jedes Luft- oder Wassertheilchen eine Drehung auf dem Umfange eines Kreises in je 24 Stunden Sternzeit ausführt, dessen Radius der kürzeste Abstand des Theilchens von der Erdaxe ist,

Fig. 353. Fig. 354.



so könnte man denken, dass die Centrifugalkraft eine allmähliche Fortbewegung des Theilchens hervorrufen müsste. Es sei z. B. a (Fig. 353) ein in der Nähe des Nordpoles P befindliches Luft- oder Wassertheilchen, so würde man glauben können, dass dasselbe nicht das Bestreben hat, sich in der durch den Pfeil bezeichneten Richtung im Kreise fortzubewegen, sondern in der Richtung der Tangente ab, nachdem es einmal in a diese Bewegungsrichtung erhalten hat, weiterzugehen. Folgendes Experiment zeigt, dass diese Voraussetzung unrichtig ist, und dass das Theilchen in der That nur das Bestreben hat, die Bewegung im Kreise einzuschlagen.

Es sei AB (Fig. 354) eine genau horizontale Platte, welche mittelst einer Centrifugalmaschine um die genau verticale Axe CD in Rotation versetzt werden kann. Auf der Platte befestigt man ein Stück Planglas F, dessen Oberfläche ebenfalls genau horizontal ist, und legt auf dasselbe eine gut abgedrehte leichte Kugel E. Sobald man die Platte in Rotation versetzt, wird man bemerken, dass die Kugel E auf der Glasplatte sich fortbewegt, und zwar sich von der Axe CD entfernt.

Ersetzt man nun die Glasplatte F durch ein Quecksilbergefäss, und lässt die Kugel auf der Oberfläche desselben schwimmen, so bemerkt man selbst bei der stärksten Drehung des Apparates keine Fortbewegung der Kugel E, und man sieht auch sofort die Ursache davon. Die Oberfläche des Quecksilbers bleibt nämlich während der Drehung nicht horizontal, sondern stellt sich schräge in der Art, dass ihre tiefste Stelle bei F, d. h. der Axe CD am nächsten ist. Der Centrifugalkraft, welche bestrebt ist, die Kugel von der Axe CD zu entfernen, wirkt nunmehr die Schwerkraft entgegen, welche die Kugel nach dem tiefsten Punkte der Quecksilberoberfläche, d. h. in der Richtung nach der Axe CD zu treiben strebt, und die vollständige Unbeweglichkeit der Kugel zeigt, dass diese beiden Kräfte sich genau das Gleichgewicht halten.

Ganz dasselbe, was hier im Kleinen auf der Oberfläche des Quecksilbers geschieht, findet im Grossen in den Oceanen und der Atmosphäre statt. Da die Erde in Folge ihrer Rotation abgeplattet ist, so hat jedes Luft- und Wassertheilchen das Bestreben, sich in der Richtung nach dem nächsten Pole fortzubewegen, um sich dem Erdmittelpunkte mehr zu nähern; diesem Bestreben wird aber durch die Centrifugalkraft vollständig das Gleichgewicht gehalten. Die Folge davon ist, dass jedes Luft- und Wassertheilchen, falls keine störenden Ursachen stattfinden, sich in Kreisen um die Pole herum bewegt, und nicht das Bestreben hat, sich von ihnen zu entfernen oder sich ihnen zu nähern.

Jetzt wollen wir aber die Voraussetzung machen, dass irgend ein Lufttheilchen einen seitlichen Impuls erhalten habe, in Folge dessen es das Bestreben hat, sich auf einem grössten Kreise der Erdkugel fortzubewegen. Das Lufttheilchen befinde sich in a (Fig. 355 a. f. S.); xz sei der zu a gehörige Parallelkreis und das Lufttheilchen bewege sich in der Richtung rp. Nach Verlauf einer Zeit, die wir als äusserst klein annehmen wollen, ist der Punkt a nach b gerückt und das Lufttheilchen wird sich in einer Richtung tu bewegen, welche parallel mit der früheren Richtung rp ist.

Es sei ferner N der Nordpol, Nm ein Theil der Erdaxe, und m der Mittelpunkt des Parallelkreises xz. Es seien ausserdem ao und bo Tangenten an die durch a und b gehenden Meridiane, dann wird der Winkel $aom = bom =$ der geographischen Breite von a und b sein, die wir mit φ bezeichnen wollen. Während sich nun die Erde um ihre Axe um den Winkel $amb = \alpha$ dreht, wird sich die Richtung des Meridians von a um den Winkel $aob = \beta$ verändern, und es erhält also scheinbar das Lufttheilchen in seiner ursprünglichen Bewegung eine Ablenkung im Betrage des Winkels β. Von dem Mittelpunkte p des Bogens ab, welchen letzteren wir seiner Kleinheit wegen als eine gerade Linie ansehen wollen, denken wir uns noch zwei Gerade nach o und m gezogen. Es wird dann offenbar $\frac{1}{2} ab = ob \sin \frac{1}{2} \beta = bm \sin \frac{1}{2} \alpha$ sein. Da wir β und α äusserst klein voraussetzen, können wir für die Sinusse ihrer halben Bogen diese letzteren selbst setzen, und erhalten daraus die Gleichung:

$$\alpha : \beta = ob : bm;$$

es ist aber

$$bm = ob \,.\, sin\, bom = ob\, sin\, \varphi,$$

folglich haben wir:

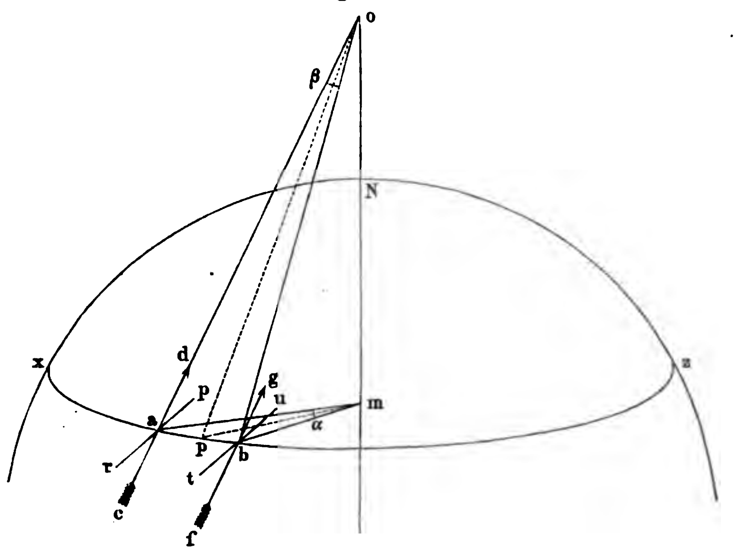
$$\alpha : \beta = ob : ob\, sin\, \varphi,$$

oder

$$\beta = \alpha\, sin\, \varphi.$$

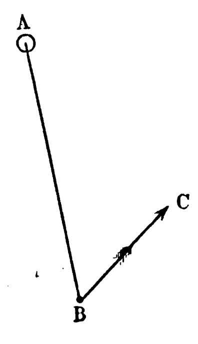
Nehmen wir als Zeiteinheit etwa 1^s Sternzeit an, so wird $\alpha = 15''$ sein, und wir haben $\beta = 15'' sin\, \varphi$. Das heisst also, dass ein Lufttheilchen,

Fig. 355.



welches einen seitlichen Impuls erhalten hat, sich über der Erdoberfläche in einer Bahn bewegt, welche scheinbar in jeder Secunde um $15'' sin\, \varphi$ von der geraden Linie abgelenkt wird. Bei gleichbleibender Geschwindigkeit würde also offenbar das Lufttheilchen eine Kreisbahn beschreiben, wenn nicht φ veränderlich wäre.

Fig. 356.

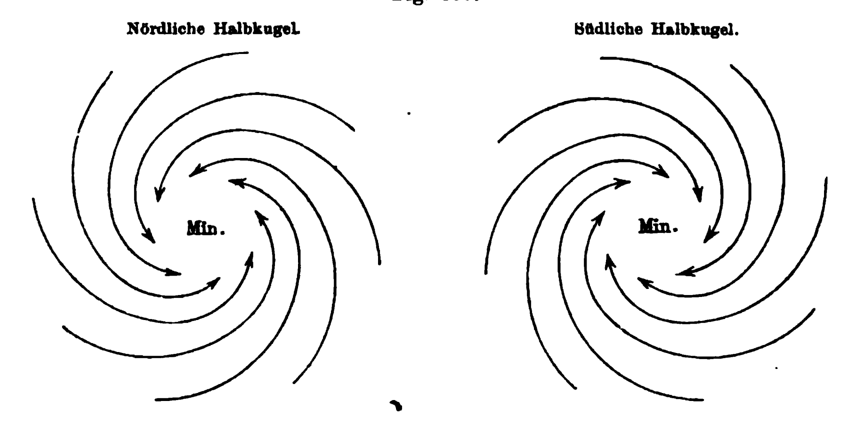


Wir sehen hieraus, dass auf der nördlichen Halbkugel die Luftströmungen das Bestreben haben, nach rechts hin ihre Richtung abzulenken; auf der südlichen Halbkugel geschieht offenbar die Ablenkung nach links. Die Grösse der Ablenkung beträgt, wie wir gesehen haben, in einer Secunde $15'' sin\, \varphi$, demnach in einer Stunde $15^0 sin\, \varphi$ und in 24 Stunden $360^0 \,.\, sin\, \varphi$. Es ist dies genau dieselbe Ablenkung, welche die Schwingungsebene des Foucault'schen Pendels erleidet.

Die gewöhnlichste Ursache für die Luftbewegung besteht in localen Luftdruckdifferenzen. Gesetzt, in einem Punkte *A* (Fig. 356) auf der nördlichen Halbkugel befände sich ein besonders niedriger Luftdruck, der sich durch tiefen Barometerstand kennzeichnet, so wird ein Lufttheilchen *B* das Bestreben haben, sich in der Richtung *BA* fortzubewegen. Da wir aber gesehen haben, dass auf der nördlichen Halbkugel die Bewegung der Lufttheilchen immer nach rechts abgelenkt wird, so wird die Bewegung etwa in der Richtung des Pfeiles *BC* erfolgen.

Das Buys-Ballot'sche Gesetz. Wir haben bisher die Rei- 235
bungen ganz ausser Acht gelassen, welchen die Lufttheilchen in ihren Bewegungen unterworfen sind. Solche Reibungen werden in der Regel der Richtung der Bewegung genau entgegenwirken und dieselbe verzögern. Dagegen können sie nicht fortdauernd wirkende Kräfte beeinflussen, wie z. B. diejenigen, welche bestrebt sind, das Lufttheilchen *B* nach dem Orte *A* des Luftdruckminimums zu führen. Die Folge davon wird sein, dass

Fig. 357.



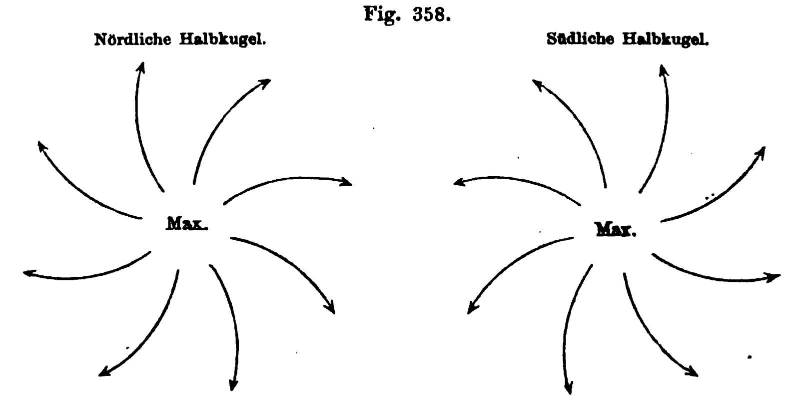
die Bahn, in welcher *C* sich bewegt, sich mehr und mehr nach links krümmen, und zuletzt nach *A* selbst hinführen muss.

Es werden demnach um den Ort eines barometrischen Minimums von allen Seiten Luftströmungen in spiraligen Bahnen stattfinden, welche auf der nördlichen Halbkugel nach links, auf der südlichen dagegen nach rechts gekrümmt sind, wie Fig. 357 zeigt.

Betrachten wir nun die Bewegung der Lufttheilchen in der Nähe eines barometrischen Maximums, d. h. eines Ortes, an dem der Luftdruck besonders hoch ist. Von diesem werden die Lufttheilchen sich radial nach allen Richtungen entfernen, dabei wird aber auf der nördlichen Halbkugel eine Ablenkung nach rechts, auf der südlichen nach links erfolgen. Es werden also um ein barometrisches Maximum ebenfalls spiralige Strömungen stattfinden, in der Weise, wie in Fig. 358 (a. f. S.) dargestellt ist.

Obigen Ausführungen entsprechend lautet das Buys-Ballot'sche Gesetz: Stellt man sich mit dem Gesetz nach derjenigen Richtung, nach welcher der Wind weht, so befindet sich auf der nördlichen Halbkugel

Fig. 358.



das Gebiet des niedrigsten Luftdruckes links, etwas nach vorn, das Gebiet des höchsten Luftdruckes rechts, etwas nach hinten. Auf der südlichen Halbkugel liegt dagegen das Gebiet des niedrigsten Luftdruckes rechts, etwas nach vorn, und das Gebiet des höchsten Luftdruckes links, etwas nach hinten.

236 **Passatwinde und Moussons.** Als Columbus auf seiner Entdeckungsreise nach Amerika seine Schiffe durch einen beständigen Ostwind fortgetrieben sah, wurden seine Gefährten mit Schrecken erfüllt, weil sie fürchteten, nimmer nach Europa zurückkehren zu können. Dieser in den Tropen beständig von Osten nach Westen wehende Wind, welcher so sehr das Erstaunen der Seefahrer des 15. Jahrhunderts erregte, ist der Passatwind. Die Schiffer benutzen diesen Wind, um von Europa nach Amerika zu segeln, indem sie von Madeira aus südlich bis in die Nähe des Wendekreises steuern, wo sie dann durch den Passat nach Westen getrieben werden. Diese Reise ist so sicher und die Arbeit der Matrosen dabei so gering, dass die spanischen Seeleute diesen Theil des Atlantischen Oceans den Frauengolf (el golfa de las Damas) nannten. Auch in der Südsee weht dieser Wind; die spanischen Schiffer liessen sich durch ihn in gerader Linie von Acapulco nach Manilla treiben.

Im Atlantischen Ocean erstreckt sich der Passatwind im Mittel bis zum 28., im Grossen Ocean nur bis zum 25. Grade nördlicher Breite. In der nördlichen Hälfte der heissen Zone ist die Richtung des Passatwindes eine nordöstliche; je mehr er sich aber dem Aequator nähert, desto mehr wird seine Richtung rein östlich. Die Grenze des Passats ist in der südlichen Halbkugel weniger genau bestimmt; dort aber hat der Passat eine südöstliche Richtung, die mehr und mehr östlich wird, je weiter er gegen den Aequator vordringt.

Diese Winde wehen rund um die ganze Erde, doch treten sie in der Regel erst 50 geographische Meilen weit vom festen Lande ganz ungestört auf.

Da, wo der Nordostpassat der nördlichen und der Südostpassat der südlichen Hemisphäre zusammentreffen, combiniren sie sich zu einem rein östlichen Winde, der aber unmerklich wird, weil die horizontale Bewegung der durch die Intensität der Sonnenstrahlen stark erwärmten und deshalb mächtig aufsteigenden Luft eben durch diese verticale Bewegung neutralisirt wird. Es würde in diesen Gegenden eine fast vollkommene Windstille herrschen, wenn nicht die heftigen Stürme, welche die fast täglich unter Donner und Blitz stattfindenden Regengüsse begleiten, die Ruhe der Atmosphäre störten und das Wehen sanfter regelmässiger Winde unmöglich machten.

Die Zone, welche die Passatwinde der beiden Hemisphären trennt, ist die Region der Calmen.

Auf den Karten Tab. XLVI und XLVII sind die hauptsächlichsten Windrichtungen durch Pfeile bezeichnet. Die Region der Calmen fällt nicht genau mit dem Aequator zusammen, sondern ihre Mitte liegt ungefähr 6° nördlich von demselben. Während unserer Sommermonate ist der Gürtel der Calmen breiter und seine nördliche Grenze entfernt sich noch vom Aequator, während gleichzeitig auch die Region des Nordostpassats weiter nach Norden rückt; die Grenzen dieser Wanderung im Atlantischen Ocean ersieht man aus der folgenden kleinen Tabelle:

	Nördliche Grenze des Nordostpassats	Nördliche Grenze der Region der Calmen	Südliche Grenze der Region der Calmen
Winter	$24^3/_4{}^0$ nördl. Br.	$5^3/_4{}^0$ nördl. Br.	$2^1/_2{}^0$ nördl. Br.
Frühling	28 " "	$5^3/_4$ " "	$1^1/_2$ " "
Sommer	$30^3/_4$ " "	$11^1/_3$ " "	$3^1/_4$ " "
Herbst	$28^1/_3$ " "	10 " "	$3^1/_4$ " "
Jahresmittel . .	28° nördl. Br.	$8^1/_4{}^0$ nördl. Br.	$2^2/_3{}^0$ nördl. Br.

Man sieht aus dieser Tabelle auch, dass die Südgrenze der Calmenregion ihre Lage im Laufe des ganzen Jahres nur wenig ändert.

Dass die Region der Calmen auf der nördlichen Hemisphäre liegt, rührt offenbar von der Configuration der Continente her.

Die Ursachen der Passatwinde sind nunmehr leicht zu erkennen. In der Nähe des Aequators wird die Luft bedeutend erwärmt, sie dehnt sich aus, wird specifisch leichter und erhebt sich in ihren oberen Theilen über das Niveau der nördlich und südlich befindlichen Theile der Atmosphäre. Sie wird daher in ihren oberen Regionen in der Richtung nach den Polen abfliessen müssen, wodurch der Luftdruck in der Nähe des

Aequators verringert wird. Diesen geringeren Luftdruck zu ersetzen, strömen in den unteren Theilen der Atmosphäre die Lufttheile sowohl von Norden als von Süden nach dem Aequator hin, und würden, wenn die Erde nicht rotirte, an der Erdoberfläche auf der nördlichen Halbkugel nördliche, und auf der südlichen Halbkugel südliche Winde hervorrufen. Wir haben aber gesehen, dass auf der nördlichen Halbkugel jede Windrichtung eine Ablenkung nach rechts und auf der südlichen Halbkugel nach links erfährt, und die Folge davon ist, dass in der Nähe des Aequators auf der Nordseite nordöstliche, und auf der Südseite südöstliche Winde wehen, welche eben mit dem Namen der Passatwinde bezeichnet werden.

Die Richtung, nach welcher die in den Aequatorialgegenden aufgestiegene Luft abfliesst, also die Richtung des oberen Passats (des Gegenpassats), ist im Wesentlichen der des unteren entgegengesetzt, sie ist in der nördlichen Halbkugel eine südwestliche, in der südlichen Halbkugel eine nordwestliche.

Dass in den oberen Luftregionen wirklich ein Passat weht, welcher dem unteren entgegengesetzt ist, lässt sich durch Thatsachen beweisen; so wurde z. B. am 25. Februar 1835 bei einem Ausbruche des Vulkans von Cosiguina im Staate Guatemala die Asche bis in die Höhe des oberen Passats geschleudert, der sie in südwestlicher Richtung fortführte, so dass sie auf der Insel Jamaica niederfiel, obgleich in den unteren Luftschichten der Nordostpassat herrschte.

In grösserer Entfernung vom Aequator senkt sich der obere Passat mehr und mehr gegen die Erdoberfläche. Auf dem Gipfel des Pics von Teneriffa herrschen fast immer Westwinde, während am Meeresspiegel der untere Passat weht.

Im Indischen Ocean ist die Regelmässigkeit der Passatwinde durch die Configuration der Ländermassen, welche dieses Meer umgeben, namentlich aber durch den asiatischen Continent, gestört. Im südlichen Theile des Indischen Oceans, zwischen Neuholland und Madagaskar, herrscht noch das ganze Jahr hindurch der Südostpassat, in dem nördlichen Theile dieses Meeres aber weht während der einen Hälfte des Jahres ein beständiger Südwest-, während der anderen Hälfte des Jahres ein beständiger Nordostwind. Diese regelmässig abwechselnden Winde werden Moussons oder Monsuns genannt.

Der Südwestwind weht vom April bis zum September, während der übrigen Monate des Jahres weht der Nordostwind.

Während in den Wintermonaten der asiatische Continent erkaltet, die Sonne aber in südlicheren Gegenden eine grössere Wärme erzeugt, muss natürlich ein Nordostpassat von dem kälteren Asien nach den heisseren Gegenden wehen. In dieser Zeit ist auch im Indischen Ocean der Nordostpassat von dem Südostpassat durch die Region der Calmen getrennt.

Das Wehen des Südostpassats wird zwischen Neuholland und Madagaskar nicht gestört, in den nördlichen Theilen des Indischen Oceans

aber, in welchen im Winter ein Nordostwind geherrscht hatte, wird dieser im Sommer in einen Südwestwind verwandelt, weil sich nun der asiatische Continent sehr stark erwärmt und also eine Luftströmung nach Norden hin veranlasst, welche durch die Rotation der Erde in einen Südwestwind verwandelt wird.

In kleinerem Maassstabe wiederholt sich die Erscheinung der Moussons an den Küsten von Oberguinea in Afrika und an der Westküste von Südamerika vom 5. Grad südlicher Breite bis zur Landenge von Panama.

Mit Regelmässigkeit sind die Passatwinde nur über den Oceanen zu beobachten, weil hier die Erwärmung der Luft eine sehr gleichmässige und die sich dem Wehen des Windes entgegensetzende Reibung an der Wasserfläche eine geringe ist; dagegen geht über grösseren Ländermassen die Regelmässigkeit der Passate vollständig verloren. Ueberall aber, wo in Folge einer Ungleichmässigkeit der Erwärmung oder anderer Ursachen sich Verschiedenheiten im Luftdrucke zeigen, treten ähnliche Erscheinungen ein, wie im Grossen bei den Passatwinden, d. h. es entstehen Luftströmungen, auf deren Richtung das vorhin erwähnte Buys-Ballot'sche Gesetz seine Anwendung findet. Im Grunde ist nämlich auch die Aequatorialgegend diejenige eines barometrischen Minimums, nach welchem von allen Seiten die Lufttheilchen sich hinbewegen, nur ist dieses Minimum ein permanentes, und wird nicht ausgefüllt, weil durch die Wirkung der Sonne eine fortwährende starke Erwärmung beim Aequator stattfindet.

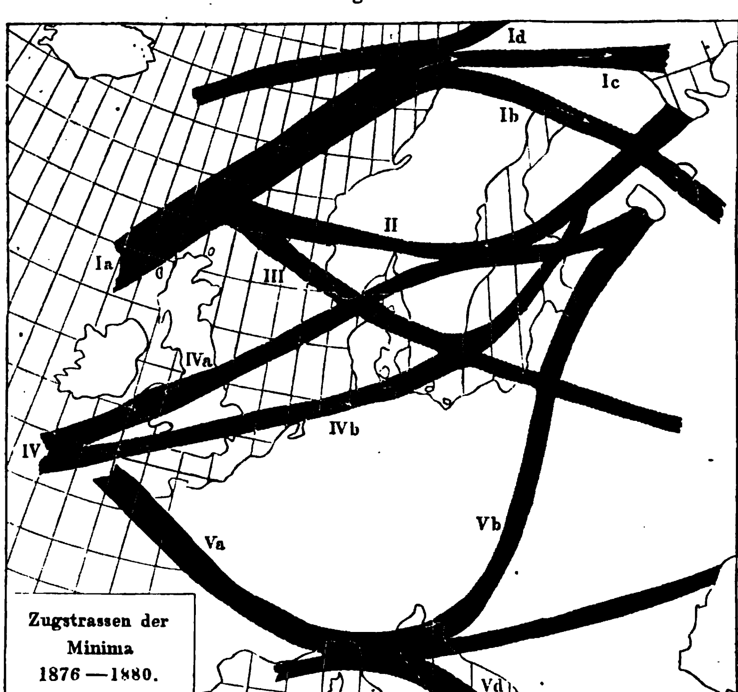
Mit grosser Deutlichkeit zeigt sich die Richtigkeit des Buys-Ballot'schen Gesetzes in der Wetterkarte vom 25. November 1889, 8 Uhr Morgens (s. Tab. 19), in welcher die Linien gleichen Luftdruckes, die sogenannten Isobaren, von 5 zu 5 mm des Barometerstandes gezeichnet sind. Ein tiefes barometrisches Minimum von unter 735 mm befindet sich in der Nordsee zwischen Schottland und Norwegen, ein Maximum dagegen im südlichen Russland. Wäre keine Erdrotation vorhanden gewesen, so hätte von allen Seiten der Wind nach dem Orte des Minimums hin, und von dem Orte des Maximums fortwehen müssen, während durch die Erdrotation überall eine Ablenkung der Windrichtung nach rechts stattfindet, die sich auf der Karte mit grösster Bestimmtheit ausprägt.

Ortsveränderungen der barometrischen Minima. Die 237
Luftdrucks-Minima und -Maxima bleiben in der Regel keineswegs lange an demselben Orte der Erdoberfläche stehen, und namentlich bewegen sich tiefe Minima häufig mit grosser Geschwindigkeit fort. Doch ist die Geschwindigkeit der Bewegung eine sehr verschiedene. Für den Zeitraum von 1876 bis 1880 fand v. Bebber die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit der barometrischen Minima für Europa zu etwa 27 km pro Stunde, oder 7,4 m pro Secunde, während Loomis für die Vereinigten Staaten 1872 bis 1884 die Geschwindigkeit zu 46 km pro Stunde fand.

Im mittleren Atlantischen Ocean ist die mittlere Geschwindigkeit der Minima kleiner als in Nordamerika, aber grösser als in Europa, so dass sie also von Nordamerika bis Europa allmählich abnimmt.

Die barometrischen Minima schlagen zum Theil mit grosser Regelmässigkeit dieselben Zugstrassen ein, ein Umstand, der für die Wetterprognose von der höchsten Bedeutung ist. In Nordamerika geht eine solche Zugstrasse vom Oberen See genau ostwärts nach Canada und Neu-Braunschweig, und auf dieser bewegen sich weit mehr Minima fort,

Fig. 359.



als in irgend welchen anderen Richtungen. In Europa befindet sich dagegen eine ganze Reihe von Zugstrassen, die in ungefähr der gleichen Häufigkeit eingeschlagen werden. Hierdurch wird die Wetterprognose sehr erschwert, indessen zeigen die regelmässigen Wetterberichte der Seewarte in Hamburg, welchen hohen Grad von Zuverlässigkeit die Prognosen bei aufmerksamer Beobachtung der unter verschiedenen Verhältnissen eingeschlagenen Zugstrassen erlangen können.

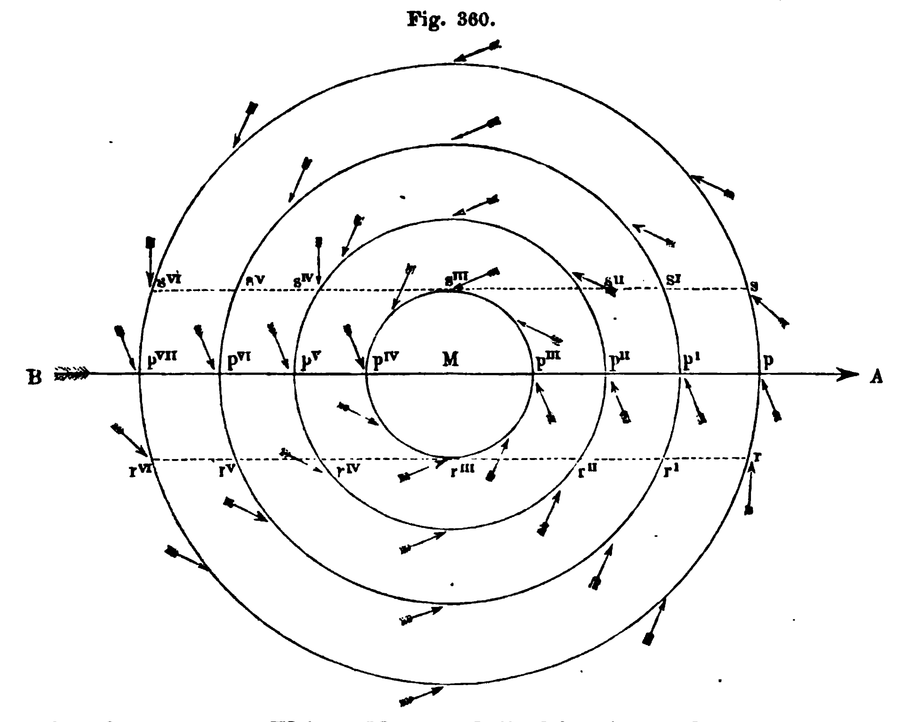
Nach van Bebber*) finden vorwiegend in Europa folgende Zugstrassen der Minima statt (s. Fig. 359):

---

*) Lehrbuch der Meteorologie. Stuttgart 1890.

1. Zugstrasse I. „Diese, ausser im Frühjahre, sehr häufig besuchte und für die Witterungsverhältnisse unserer Gegenden wichtigste Zugstrasse beginnt im Nordwesten Schottlands, zieht sich der norwegischen Küste entlang nordostwärts über den Polarkreis hinaus nach Finnmarken, hier die Minima noch aufnehmend, die hauptsächlich von Island und Umgebung kommen, und theilt sich dann in zwei bis drei Zugstrassen, von denen die eine nordwärts zum Eismeere (I d), die zweite (I c), häufiger besuchte, zum Weissen Meere und die dritte (I b) südostwärts nach dem Innern Russlands führt.“

Fig. 360.



2. Zugstrassen II, III und IV. „Weitere drei Zugstrassen führen von der Umgebung der britischen Inseln quer über das Nordseegebiet und Südskandinavien hinaus nach Finnland und den russischen Ostseeprovinzen. Die aus dem Meere nördlich und östlich von Schottland kommenden Minima bewegen sich theils nach Ost (II), theils nach Südost (III), die vor dem Canal zuerst erscheinenden hauptsächlich der Küste entlang in ostnordöstlicher Richtung (IV), theils über die Helgoländer Bucht (IV b), theils über das Skagerrak (IV a) hinaus nach Finnland, wobei Südskandinavien die Convergenzstelle dieser Zugstrasse nach Zugstrasse III bildet. Diese Zugstrassen sind in allen Jahreszeiten vertreten, nur im Frühjahr und Sommer scheint die nordöstliche Richtung seltener zu sein.“

3. Zugstrasse V. „Vom Südwesten der britischen Inseln führt eine andere Zugstrasse, die im Frühjahr stark besucht ist, jedoch auch im Winter und Herbst nicht selten eingeschlagen wird, dagegen im Sommer fast gänzlich fehlt, südostwärts über Frankreich nach dem Mittelmeerbecken hin (V a). Hier vereinigt sie sich mit einer Zugstrasse, welche aus dem westlichen Theile des Mittelmeeres kommt, und verläuft dann südostwärts an der Ostküste Italiens entlang (V d), theils, wie es im Frühjahr am häufigsten ist, nordost- und nordwärts nach der Gegend des Finnischen Meerbusens (V b)."

Wir wollen nun annehmen, ein barometrisches Minimum mit dem Centrum M (Fig. 360) zöge in der Richtung des Pfeiles AB über einen Punkt p der nördlichen Halbkugel weg, so dass dieser Punkt, in Beziehung auf das Minimum, successive in die Stellung $p, p' \dots p''$ käme. Die Richtung der kleinen Pfeile bezeichnet an diesen Punkten die Windrichtung; es zeigt sich dann, dass während des Heranrückens des Minimums in p ein südsüdöstlicher Wind weht, welcher nach Passiren des Centrums in die entgegengesetzte (nordnordwestliche) Richtung überspringt. Geht das Centrum an einem Orte r nördlich vorbei, so dreht sich der Wind von Süden durch Südwesten nach Westen und Nordwesten, geht es aber an einem Orte s südlich vorbei, so dreht sich der Wind von Südosten durch Osten, Nordosten und Norden nach Nordwesten. Da nun die meisten Minima nördlich vom mittleren Europa in der Richtung von Westen nach Osten ziehen, so stellte Dove das nach ihm benannte Winddrehungsgesetz auf, wonach auf der nördlichen Halbkugel der Wind für einen bestimmten Ort sich vorwiegend in der Richtung des Uhrzeigers dreht.

238 **Barometrische und thermometrische Windrose.** Es ist schon mehrfach erwähnt worden, dass die Windrichtung in innigem Zusammenhange mit der Höhe der Quecksilbersäule im Barometer stehe. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Barometerhöhe für jeden der acht Hauptwinde an mehreren Orten Europas in Millimetern an:

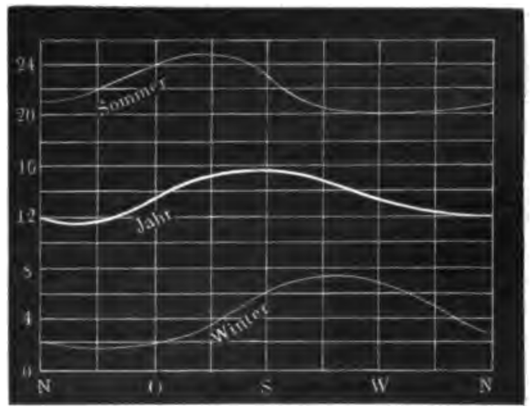
Winde	London	Paris	Berlin	Moskau
Nord	759,20	759,09	758,68	743,37
Nordost	760,71	759,49	759,36	745,06
Ost	758,93	757,24	758,77	743,90
Südost	756,83	754,03	754,69	741,74
Süd	754,37	753,15	751,33	740,63
Südwest	755,25	753,52	752,57	740,34
West	757,28	755,57	756,00	741,06
Nordwest	758,03	758,78	756,62	741,76

Indem man die mittlere Temperatur aller derjenigen Tage nimmt, an welchen im Laufe des Jahres ein und derselbe Wind weht, erhält man die mittlere Temperatur dieses Windes. Die folgende Tabelle giebt die mittlere Temperatur der Hauptwinde für mehrere Orte an:

Winde	Paris	Carlsruhe	London	Moskau
Nord	12,03	9,88	8,00	1,21
Nordost	11,76	8,30	7,63	1,44
Ost	13,50	8,51	8,38	3,53
Südost	15,25	12,20	9,50	4,63
Süd	15,43	12,61	10,00	5,96
Südwest	14,93	11,00	10,13	5,69
West	13,64	12,20	9,25	5,49
Nordwest	12,39	11,50	8,38	3,33

Nach dieser Tabelle ist für Paris die mittlere der drei Curven in Fig. 361 construirt. Man sieht, wie für Paris, sowie für die anderen

Fig. 361.



angeführten Orte, die Temperatur der Luft im Durchschnitt für die nördlichen Winde niedriger ist als für die südlichen.

Die oberste und unterste der drei Curven zeigen, wie sich im Durchschnitt die mittlere Temperatur im Sommer und im Winter zu Paris (und im westlichen Europa überhaupt) mit der Windrichtung ändert. Es zeigt sich hier zwischen Sommer und Winter ein entschiedener Gegensatz. Im Sommer bringen Südwest-, West- und Nordwestwinde die niedrigste Temperatur, während im Winter gerade die Südwest- und Westwinde eine Erhöhung der Lufttemperatur zur Folge haben, und die grösste Kälte bei Nord-, Nordost- und Ostwinden stattfindet. Der Grund davon

ist leicht einzusehen. Die westlichen Winde kommen über das Meer zu uns und überziehen den Himmel meistens mit einer Wolkendecke, welche sowohl die Erwärmung des Bodens durch die Sonnenstrahlen bei Tag, als auch die Erkaltung desselben durch Ausstrahlung der Wärme bei Nacht verhindert. Im Sommer ist die Wirkung der Sonnenstrahlen bei Tag, im Winter dagegen ist die nächtliche Strahlung überwiegend, die Wolkenhülle hindert also im Sommer die stärkere Erwärmung, im Winter die stärkere Erkaltung des Bodens. Dagegen werden im Sommer diejenigen Winde eine grössere Wärme bringen, welche den Himmel heiter machen, während im Winter gerade bei heiterem Himmel die grösste Kälte eintreten muss.

239 **Heisse Winde.** Da die Luft ihre Wärme grossentheils von dem Boden empfängt, auf welchem sie ruht, so ist es begreiflich, dass die Temperatur der Winde von der Beschaffenheit der Gegenden abhängt, von welchen sie herkommen. Winde, welche von den mit Schnee und Eis bedeckten Polar-Gegenden kommen, bringen eine niedrige Temperatur mit, und selbst im Sommer ist in unseren Gegenden der erkaltende Einfluss der Nordostwinde nicht ganz verwischt. Obgleich der Nordost den Himmel heiter macht und die kraftvolle Einwirkung der Sonnenstrahlen in dieser Jahreszeit ermöglicht, so findet um diese Zeit doch die grösste Hitze statt, wenn Ost- und Südostwinde wehen.

Die Meeresoberfläche wirkt im Allgemeinen ermässigend auf die Temperatur der Luft, weil das Wasser selbst die Wärmestrahlen weniger absorbirt als das Festland, und weil eine bedeutende Wärmemenge bei der auf dem Meere fortwährend stattfindenden Verdunstung gebunden wird.

Wo die Sonnenstrahlen nahe rechtwinklig auf einen nicht durch eine Pflanzendecke geschützten Fels- oder Sandboden fallen, da wird der Boden ausserordentlich stark erhitzt werden, und diese hohe Temperatur wird sich auch der Luft mittheilen, welche auf dem erhitzten Boden ruht; es ist deshalb begreiflich, dass die Winde, welche von vegetationslosen Wüsten der Tropen oder ihren benachbarten Landstrichen kommen, sich durch eine hohe Temperatur auszeichnen.

Die von der Wüste her wehenden heissen und trockenen Winde führen in verschiedenen Gegenden verschiedene Namen. In Arabien, Persien und den meisten Gegenden des Orients wird dieser heisse Wind Samum (Giftwind) genannt; in Aegypten, wo er im Frühjahr ungefähr 50 Tage lang weht, heisst er Chamsin (fünfzig), an den westlichen Grenzen der Sahara in Senegambien und Guinea führt er den Namen Harmattan.

Alle Berichte stimmen darin überein, dass sich die Annäherung der Wüstenwinde schon durch eine Verdüsterung des sonst in jenen Gegenden reinen Horizontes ankündigt. Die Luft verliert ihre Durchsichtigkeit, die Sonne ihren Glanz und, blasser als der Mond, wirft sie keine

Schatten mehr, das Grün der Bäume erscheint als schmutziges Blau. Es rührt dies von den Sand- und Staubtheilchen her, welche der Sturm in die Höhe jagt und mit sich fortführt. Gerade dieser Umstand aber trägt dazu bei, die Temperatur der Luft so sehr zu erhöhen; denn wenn der oft bis zu 62° C. erhitzte Sand in die Höhe gejagt wird, so geben die einzelnen Sandkörnchen bald einen Theil ihrer Wärme an die Luft ab, deren Temperatur dadurch auf 42 bis 47° C. steigt. Dazu ist die Luft ungemein trocken; deshalb verschwindet rasch der Schweiss von der Oberfläche des Körpers, der Gaumen wird trocken, die Respiration schwierig. Ebenso ist das Wasser, welches die Reisenden der Wüste in Schläuchen mit sich führen, unter dem Einfluss des Samums einer raschen Verdunstung ausgesetzt. Nur durch diese Trockenheit, nicht etwa durch eigenthümlich giftige Bestandtheile, wie man wohl früher glaubte, ist der Samum gefährlich.

In ähnlicher Weise wie bei den Sandwüsten von Asien und Afrika zeigen sich heisse Winde überall da, wo mehr oder weniger vegetationslose Landstriche eine starke Erhitzung des Bodens gestatten. So sind in Neuholland die vom Lande her kommenden Winde fast immer sehr trocken und heiss.

Im südlichen Europa finden wir noch sehr heisse Winde, so den Sirocco in Italien, welcher zu Palermo öfters das Thermometer im Schatten bis auf 45° C. steigen macht. Dieser Wind entsteht auf der östlichen Seite der barometrischen Minima in Italien, und bringt, da er von südlich gelegenen Theilen des Mittelländischen Meeres weht, sehr warme und feuchte Luft mit sich. Ferner weht in Italien, namentlich in Sicilien, häufig ein sehr trockener und heisser Wind, welcher von Afrika herüberkommt und nicht selten einen rothen feinen Sand mit sich führt, der vermuthlich der Sahara entstammt. Auch im Atlantischen Ocean weit von der Küste entfernt, sowie in Spanien kommen diese trockenen, Staub mit sich führenden Winde vor.

Ein in neuerer Zeit vielfach besprochener warmer und zugleich trockener Wind ist der Föhn, welcher als eine locale Erscheinung vorzugsweise in den nordöstlichen Abhängen der schweizerischen Alpen auftritt. Das eigentliche Föhngebiet umfasst den unteren Theil des Vorderrheinthals, den Prättigau, das Rheinthal von Chur bis gegen Altstätten hin, das Thal von Bludenz (Vorarlberg), die Kantone Appenzell, Glarus, Uri, Schwyz, die östliche Hälfte von Unterwalden und theilweise das Berner Oberland und das obere Rhonethal. Manchmal werden auch noch dem eigentlichen Föhngebiete benachbarte Gegenden von föhnartigen Winden getroffen.

Die eigentlichen Föhnzeiten sind Herbst, Winter und Frühling. Im Sommer erscheint der Föhn am seltensten und am schwächsten.

Nach den Aussagen der Einwohner der genannten Gegenden frisst der Föhn im Winter den Schnee weg, er bringt die warmen Frühlingstage, er trocknet das Heu auf den Alpen und reift die Trauben in den

Bündner Thälern. In den Häusern wird das Feuer des Heerdes oder des Ofens sorgsam gelöscht. In vielen Thälern ziehen die Feuerwachen von Haus zu Haus, um sich von jenem Auslöschen zu überzeugen, da bei der Ausdörrung alles Holzwerkes durch den Wind ein einziger verwahrloster Funke grosses Brandunglück stiften kann. Die beste Auskunft über die physikalische Natur des Föhns verdankt man den innerhalb des Föhngebietes gelegenen schweizerischen meteorologischen Stationen.

Trotz der grossen Trockenheit, welche während eines Föhnsturmes in den Thälern herrscht, ist der Himmel doch bewölkt und mit dem Nachlassen des Föhns stellt sich Regen- oder Schneefall ein.

Das Barometer fällt während eines Föhnsturmes tief unter seinen mittleren Stand. Die Richtung der Föhnstürme geht vorzugsweise von Süd nach Nord oder von Südost nach Nordwest.

Die hohe Temperatur und die Trockenheit des Föhns hat die Meinung hervorgerufen, als sei er ein die Alpen überschreitender trockener Wüstenwind und demzufolge suchte man den Ursprung des Föhns in der Sahara. Diese Meinung erhielt eine weitere Stütze dadurch, dass nach den geologischen Untersuchungen von Desor und Escher von der Linth die Sahara jüngeren Alters ist, d. h. dass sie sich erst in einer späteren geologischen Periode über das Niveau des Meeres erhob, was dann eine Erhöhung der Temperatur Europas und die Reduction der früher viel ausgedehnteren Gletscher in den Alpen zur Folge gehabt haben soll; kurz man brachte den Föhn mit dem Aufhöreu der Eiszeit in einen causalen Zusammenhang.

Gegen diese Ansicht trat zuerst Dove auf, indem er darauf hinwies, dass die von der Sahara aufsteigende trockene Luft in Folge der Rotation der Erde im Allgemeinen nicht nach Norden, sondern nach Nordosten hin abfliessen müsse, also nicht die Alpen, sondern das östliche Europa und Westasien treffen müsse, dass nur in Ausnahmefällen die Luft von der Sahara nach den Alpen gelangen könne, dass also der Föhn auf einen vom Atlantischen Ocean her über Europa dahin wehenden Aequatorialstrom zurückzuführen sei. Nach den sorgfältigen Untersuchungen, welche namentlich von Hann über die Ursachen des Föhns angestellt worden sind, müssen wir ihn als eine Folge der über Mittel- und Nordeuropa in west-östlicher Richtung ziehenden barometrischen Depressionen ansehen. Wir haben gesehen, dass bei dem Herannahen einer nördlich vorüberziehenden Depression der Wind zunächst von Norden weht. Wenn dieses in den Alpenländern der Fall ist, so wird aus den nördlich der Alpen liegenden Gegenden die Luft nach Norden hingezogen, und zum Ersatz muss aus den südlichen Thälern die Luft über die Alpenkämme sich hinweg, und dann in die Thäler hinunterbewegen, wobei aber zunächst das Barometer auf der Nordseite der Alpen tief unter seinen gewöhnlichen Stand heruntersinkt. Auf den Südabhang der Alpen kann sich aber dieses Sinken des Barometers nicht erstrecken, weil die Partien des Wirbelsturmes, welche über Norditalien gegen den Wall der Alpen

anprallen, hier in ihrem Fortgang aufgehalten, eine Stauung der Luft veranlassen werden.

Sehr schön wird dies durch die Untersuchungen Dufours über den Föhnsturm vom 23. September 1866 erläutert. Nach seinen Zusammenstellungen stand das Barometer an jenem Tage

an den Nordwestküsten Europas um . . .	15 bis 22 mm	unter dem Mittel
im mittleren und südlichen Deutschland um	10 „ 17	
in der ebenen Schweiz um	6 „ 14	
in den nördlichen Alpenthälern um . . .	4 „ 10	
auf den hochgelegenen Stationen der Alpenkette um	0,7 bis 1,4 mm	über dem Mittel
zu Athen um	4 „ 5	

Auf der einen Seite der Alpenkette stand also an jenem Föhntage das Barometer unter, auf der anderen Seite stand es über dem Mittel.

Auch über die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse während jenes Föhnsturmes geben uns Dufour's Untersuchungen Auskunft. In der folgenden kleinen Tabelle (ein Auszug aus der weit umfassenderen von Dufour gegebenen) findet man angegeben, wie hoch an den genannten Orten das Thermometer über und um wie viel Procent der Feuchtigkeitsgehalt während des Föhns am 23. September unter dem Mittel aus den drei vorhergehenden und den drei folgenden Tagen stand.

	Temperatur	Feuchtigkeit
Basel	+ 3,8° C.	— 9 Proc.
Schwyz	+ 6,5	— 29 „
Altdorf	+ 6,6	— 16 „
Gotthard	+ 0,9	
Faido	— 0,7	+ 14 „

Zu Faido im Ticinothal, südlich vom Gotthard, war also am 23. September 1866 während des Föhnsturmes die Temperatur der Luft niedriger, der Feuchtigkeitsgehalt aber bedeutender als an den drei vorhergehenden und den drei folgenden Tagen, während nördlich vom Gotthard entschieden das Gegentheil stattfand. Während des fraglichen Föhntages war die Temperatur und der Barometerstand im Mittel zu

	Thermometer	Barometer
Altdorf	21,8° C.	719 mm
St. Gotthard	5,2	593 „
Faido	14,0	701 „

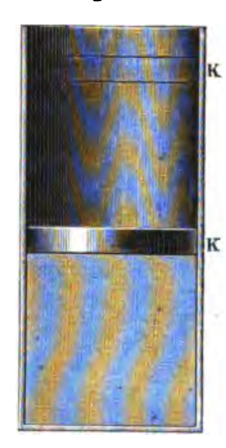
es war also zu Altdorf um 16,6° C. wärmer als auf dem Gotthard, während die mittlere Jahrestemperatur für Altdorf die des Gotthard nur um 10° C. übertrifft.

Die hohe Temperatur und Trockenheit des Föhns in den nördlichen Alpenthälern ist, wie dies von mehreren Naturforschern angedeutet, na-

mentlich aber von Wild und von Hann ausgeführt worden ist, auf den Umstand zurückzuführen, dass die vom Kamm des Gebirges sich rasch ins Thal hinabsenkende Luftmasse eine namhafte Verdichtung und in Folge der dabei frei werdenden Wärme eine Temperaturerhöhung erfährt.

Wir wollen dies an einem speciellen Beispiel nachweisen. Die von Süden her gegen die Alpen anstürmende Luftmasse ist genöthigt, an dem Südabhange des Gebirges in die Höhe zu steigen, mit diesem Aufsteigen ist aber eine Ausdehnung, also auch eine Wärmebindung und eine Temperaturerniedrigung verbunden, welche aber zum Theil dadurch neutralisirt wird, dass die Abkühlung der mit Feuchtigkeit gesättigten Luft eine theilweise Condensation von Wasserdämpfen, also auch ein Freiwerden der Wärme zur Folge hat. So kommt es denn, dass an dem genannten Föhntage die Temperatur-Differenz zwischen Faido (nur wenig höher gelegen als Altdorf) und dem Gotthard nur 14 — 5,2 = 8,8° C. beträgt. Auf dem Kamme des Gotthards ist die Luft bei 5,2° C. unter einem Barometerstand von 593 mm mit Feuchtigkeit gesättigt. Bis Altdorf herabstürzend wird die Dichtigkeit dieser Luft im Verhältniss von 539 zu 719 vermehrt und wir wollen nun berechnen, welche Temperaturerhöhung eine solche Verdichtung zur Folge haben muss.

Fig. 362.



Denken wir uns 1 Liter Luft von 593 mm Spannkraft in einem hohlen Cylinder, Fig. 362, von 1 qdm Basis durch einen bewegten Kolben K abgesperrt, welcher sich 1 dm hoch über dem Boden befindet, so müsste der Kolben um 1,75 cm, oder was dasselbe ist, um 0,0175 m hinabgedrückt werden, wenn die Spannkraft der eingeschlossenen Luft bis zu 719 mm gesteigert werden soll. Die Arbeit, welche durch dieses Niederdrücken des Kolbens geleistet wird, ist nahezu dieselbe, als ob für den ganzen vom Kolben zurückgelegten Weg die Spannkraft der Luft nicht eine von 593 bis 719 mm wachsende, sondern eine gleichbleibende, dem Mittel aus den beiden Grenzwerthen gleiche, also 565 mm betragende, wäre. — Um aber der abgesperrten Luft, wenn ihre Spannkraft 656 mm betrüge, das Gleichgewicht zu halten, müsste der von aussen gegen den Kolben auszuübende Druck $103{,}3 \frac{656}{760} = 89$ kg betragen. Demnach ist die Arbeit, welche geleistet wird, wenn man den Kolben unter den erwähnten Umständen um 0,0175 m niederdrückt,

$$89 . 0{,}0175 = 1{,}56 \text{ mkg}.$$

Dieser Arbeit entspricht aber eine Wärmemenge von

$$\frac{1{,}56}{425} = 0{,}00367 \text{ Wärmeeinheiten.}$$

Wenn einer Luftmenge von q Kilogrammen eine Wärmemenge von w Calorien mitgetheilt wird, so beträgt die dadurch hervorgebrachte Temperaturerhöhung

$$t = \frac{w}{q \cdot c} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

in welcher Gleichung man in unserem Falle für c die specifische Wärme der Luft bei constantem Volumen, also 0,17, zu setzen hat. Setzen wir in Gl. 1) ferner $w = 0{,}00367$, für q das Gewicht eines Liters Luft von 593 mm Spannkraft, also $q = 0{,}001293 \frac{593}{760} = 0{,}001$ kg, so kommt

$$t = \frac{0{,}00367}{0{,}001 \cdot 0{,}17} = 21{,}5^0 \text{C.},$$

indem also die Luft vom Gotthard bis Altdorf herunterstürzend im angegebenen Verhältniss comprimirt wird, müsste ihre Temperatur um 21,5° C. erhöht werden, wenn alle durch diese Verdichtung entwickelte Wärme nur der comprimirten Luft selbst zukäme. Obgleich dies aber nicht der Fall ist, bleibt doch noch eine Temperaturerhöhung von $21{,}8 - 5{,}2 = 16{,}6^0$ für die niederstürzende Luftmasse übrig. Diese Luftmasse muss aber eine sehr trockene sein, da sie nur für $5{,}2^0$ mit Wasserdampf gesättigt ist.

Eine dem Föhn ganz ähnliche Erscheinung tritt an den südwestlichen Küsten des Caspischen Meeres auf (Jelinek, Zeitschrift für Meteorologie II, 161). Ein im Winter plötzlich auftretender Südwest steigert, obgleich er von dem schneebedeckten Elbrusgebirge herabweht, nicht nur die Temperatur gewaltig, sondern er trocknet alles Holz dermaassen aus, dass der Feuersgefahr wegen jedes Feuer im Lande ausgelöscht werden muss. Ein ähnliches Beispiel eines Fallwindes haben wir in der an der istrischen und dalmatischen Küste wehenden Bora. Dieselbe entsteht durch nördliche Winde, welche von den mit Schnee bedeckten nördlichen Bergen herunterwehen.

Stürme. Die Geschwindigkeit des Windes ist eine sehr veränderliche Grösse. Ein Wind, dessen Geschwindigkeit nicht über 1 m in 240
der Secunde beträgt, ist kaum merklich. Bei einer Geschwindigkeit von 2 bis 3 m in der Secunde ist der Wind angenehm. Ein starker Wind hat 10 bis 11, ein heftiger Wind hat etwa 12 m Geschwindigkeit in der Secunde. Geht die Geschwindigkeit des Windes über diese Grenze hinaus, so wird er Sturm genannt. Die stärksten Stürme, deren Geschwindigkeit 40 bis 50 m in der Secunde (30 bis 37 geographische Meilen in der Stunde) beträgt, werden mit dem Namen Orkane bezeichnet.

Von der mechanischen Gewalt eines solchen Orkans kann man sich einen Begriff machen, wenn man bedenkt, dass er bei der angegebenen Geschwindigkeit gegen eine Oberfläche von 1 qm, welche der Richtung

des Sturmes rechtwinklig entgegengesetzt ist, ein Druck von 150 bis 250 kg ausübt.

Furchtbar sind in der That die Verheerungen, welche solche Stürme anrichten. Der grosse Sturm, welcher in der Nacht vom 26. auf den 27. November 1703 Frankreich, England und die Niederlande heimsuchte, stürzte in England 800 Häuser und 400 Windmühlen um; durch denselben wurden 250000 mächtige Baumstämme zerspittert oder entwurzelt, 100 Kirchen abgedeckt und der Leuchtthurm von Eddystone umgeworfen; 390 Schiffe gingen an der Küste zu Grunde.

Im November 1836 wüthete ein Sturm an den Küsten von Frankreich und Belgien. In Ostende war kaum ein Haus, welches nicht entdacht gewesen wäre, und so gross war der Bedarf an Ziegeln, dass ihr Preis von 16 auf 30 Gulden fürs Tausend stieg.

Noch weit furchtbarer ist die Gewalt der Orkane in der heissen Zone. Westindien wird sehr häufig von Stürmen heimgesucht, welche unter dem spanischen Namen Tornados (Drehstürme) oder dem englischen Hurricanes bekannt sind. Nach einem Sturme, welcher am 2. August 1837 einen Theil der Westindischen Inseln verwüstete, sperrten die Trümmer von 36 Schiffen den Hafen von St. Thomas; das Fort am Eingang desselben war so zerstört, als ob es durch eine Batterie eingeschossen worden wäre; Vierundzwanzigpfünder waren von den Wällen heruntergerissen. In St. Bartholome wurden durch diesen Sturm 250 Gebäude zerstört, und von den 33 in Portorico vor Anker liegenden Schiffen konnte keines gerettet werden, obschon man, durch das bedeutende Sinken des Barometers gewarnt, alle möglichen Vorsichtsmaassregeln getroffen hatte.

Am 10. August 1831 wurde Barbadoes von einem Sturme getroffen, welcher die Umgebung von Bridgetown in eine Wüste verwandelte. Bis auf einige Flecken welken Grüns war alle Vegetation vernichtet. Einige wenige Bäume, welche stehen geblieben waren, gewährten, ihrer Blätter und Zweige beraubt, einen kalten winterlichen Anblick, und die zahlreichen Landsitze in der Nähe von Bridgetown, vorher von dichten Gebüschen beschattet, lagen nun frei in Trümmern.

241 **Barometrische Gradienten.** Alle Punkte der Erdoberfläche, welche auf derselben Isobare liegen, stehen unter dem gleichen Luftdrucke. Diejenigen Linien, welche senkrecht auf den Isobaren stehen, geben auf der Isobare die Richtung der stärksten Aenderung im Barometerstande an; man nennt diese Linien die Richtungen der barometrischen Gradienten, und zwar wird die Grösse des Gradienten gewöhnlich durch die Anzahl von Millimetern bezeichnet, um welche der Luftdruck sich ändert, wenn man sich um 15 geographische Meilen oder einen Aequatorgrad in der Richtung des Gradienten fortbewegt. Je schneller der Luftdruck sich demnach in einer bestimmten Richtung

ändert, je grösser ist der barometrische Gradient, und um so schneller ist auch regelmässig die Bewegung des Windes.

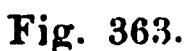
Wir haben gesehen, dass durch locale Erwärmungen, aber auch durch locale Niederschläge das Gleichgewicht der Atmosphäre gestört wird, und dass hierin die hauptsächlichste Ursache der Luftbewegungen liegt. So wird z. B. alljährlich am Anfange des Mai durch starke Einwirkung der Sonnenwärme auf diejenigen Gegenden Europas, welche sehr weit von der See entfernt liegen, also z. B. die ungarische Ebene, dort ein aufsteigender Luftstrom hervorgerufen, der die Entstehung eines barometrischen Minimums im Gefolge hat. Hierdurch wird aber, wie wir gesehen haben, in Norddeutschland eine nordöstliche Windrichtung bewirkt, durch welche die kalte Luft aus dem nördlichen Russland dorthin geführt wird. Diesem Umstande hat man die bekannten Kälterückfälle im Mai zugeschrieben, bei deren Entstehung aber vermuthlich mehrere Ursachen zusammenwirken.

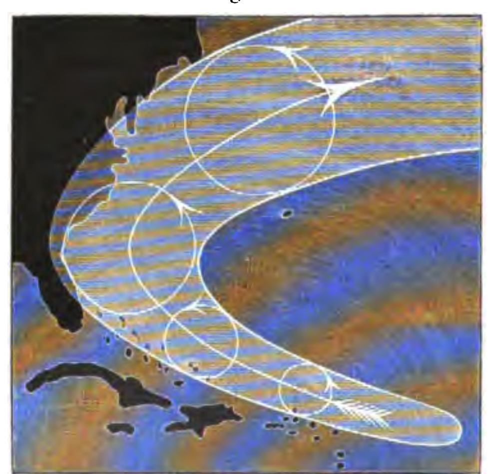
Eine grössere Einwirkung auf die Bildung localer barometrischer Depressionen ist indessen im Allgemeinen plötzlichen Condensationen der in der Luft befindlichen Wasserdämpfe zuzuschreiben, und diese sind es auch wohl, welche die tiefsten Depressionen und somit die heftigsten Stürme hervorrufen. Doch können gewöhnlich die wirklichen Ursachen der besonders tiefen Depressionen mehr gemuthmaasst als mit Sicherheit nachgewiesen werden.

Die tiefsten Depressionen finden sich in den Tropen, sie bringen die gefürchteten Orkane oder Cyklone hervor und zeigen, allerdings in bedeutend erhöhtem Maasse, dieselben Erscheinungen wie die barometrischen Minima, welche über Europa hinwegziehen. Auch hier findet dasselbe Windgesetz statt, nach welchem die Lufttheilchen sich auf der nördlichen Halbkugel in der Richtung gegen den Uhrzeiger, auf der südlichen Halbkugel dagegen mit dem Uhrzeiger um das Minimum herumbewegen. Damit ist aber dem Seemann, dessen Schiff in die grösste Gefahr kommt, wenn das Centrum des Orkans sich dem Schiffe sehr nähert, ein Mittel gegeben, um unter Benutzung des Windes dem Orkane zu entweichen. Im Allgemeinen kann man nämlich annehmen, dass die Richtung nach dem Centrum eines sehr heftigen Sturmes sich sehr nahe rechtwinklig gegen die Richtung des Windes befindet, und zwar, wenn man sich mit dem Gesicht gegen den Wind dreht, auf der nördlichen Halbkugel rechts, und auf der südlichen Halbkugel links. Hiermit ist also genähert die Richtung nach dem Centrum gegeben, ausserdem kann man aber aus der Stärke des Barometerfalles einen beiläufigen Schluss auf die Entfernung des Centrums vom Schiffe ziehen. Nach einer von Piddington aufgestellten Regel hat man folgende Tabelle aufgestellt:

Ein Barometerfall pro Stunde	zeigt eine Entfernung des Centrums vom Schiffe
von 0,5 bis 1,5 mm	von 250 bis 150 Seemeilen
„ 1,5 „ 2,0	„ 150 „ 100 „
„ 2,0 „ 3,0	„ 100 „ 80 „
„ 3,0 „ 3,8	„ 80 „ 50 „

Diese Tafel giebt zwar natürlich nur einen ungefähren Anhalt, kann sich aber doch sehr nützlich erweisen. Gesetzt z. B., der Seemann zeichne zu mehreren Tageszeiten den Ort seines Schiffes in eine Seekarte, und vermerke darauf zugleich nach seinen Beobachtungen der Windrichtung und des Barometerstandes den Ort des Centrums eines Orkanes, so erhält er die Zugbahn des letzteren, und kann sich mit Hülfe von Dampfkraft oder Segeln, unter Benutzung des herrschenden Windes, möglichst weit seitlich entfernen. Er wird also z. B., wenn auf der nördlichen Halbkugel der Cyklon sich westwärts in der Richtung nach dem Schiffe bewegt, nach Süden, wenn er sich ostwärts bewegt, nach Norden ausweichen, und auf der südlichen Halbkugel umgekehrt. In manchen Fällen ist zwar ein solches Ausweichen nicht möglich; wenn z. B. ein Schiff sich im Golf von Aden befindet, und es naht ein Cyklon von Indien her, so kann es nicht südlich ausweichen, weil dort die afrikanische Küste ist, und muss den Orkan über sich ergehen lassen. Unter solchen Umständen wurde z. B. vor einigen Jahren das deutsche Kriegsschiff „Augusta" im Golf von Aden vernichtet.

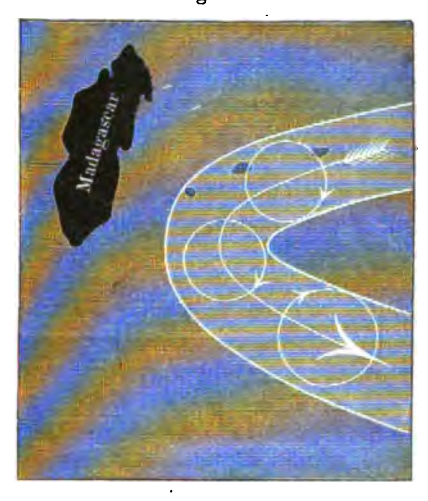

Fig. 363.



Das Herannahen eines Orkanes macht sich nicht allein durch das Fallen des Barometers, sondern auch durch die Unruhe der See bemerkbar. Da nämlich um das Centrum herum der Wind in allen möglichen Richtungen tobt, so erregt er viele sich kreuzende, und zum Theil gegenseitig bedeutend verstärkende Wellensysteme, und diese Unruhe der See ist namentlich dem Dampfschiffe gefährlich, weil unvermuthet ungeheure Wellen sich über das Schiff stürzen und das Feuer in den Maschinen auslöschen können, hierdurch aber die Möglichkeit des Entfliehens gehindert wird. Es ist immer rathsam, sich dem Centrum nicht mehr als auf 150 Seemeilen zu nähern, denn auf 100 Seemeilen Ent-

fernung verliert der Seemann gewöhnlich schon alle Macht über sein Schiff, und auf 50 Seemeilen Entfernung muss es sich willenlos seinem Schicksale ergeben, das fast immer zum Untergange des Schiffes führt.

Fig. 364.



Die Zugstrassen der Orkane gehen übrigens keineswegs immer geradlinig fort, sondern haben öfters die Tendenz, seitlich auszubiegen und darauf fast die entgegengesetzte Richtung einzuschlagen. So bieten z. B. die Figuren 363 und 364 die gewöhnlichen Typen der Bahnen derjenigen Orkane dar, welche bei den Westindischen Inseln und dem Südindischen Ocean stattfinden.

Die unter dem Namen der Tyfoons in den chinesischen Meeren bekannten Stürme bieten ähnliche Erscheinungen. Sie ziehen von dem nördlichen Theile der Philippinen westnordwestlich oder nordwestlich, und biegen im Lande häufig wieder um, so dass sie wieder das Meer erreichen.

Tromben und Wasserhosen. Wir haben bisher nur Wirbel- 242
winde im grossartigsten Maassstabe betrachtet; ganz ähnliche Erscheinungen finden aber auch im kleinsten Maassstabe statt. Oft sieht man an heissen Sommertagen bei sonst ruhigem Wetter, dass Sand und Staub durch den Wind in wirbelnder Bewegung fortgeführt werden. Bei herannahenden Gewittern sieht man schon grössere Luftwirbel der Art, welche ausser Staub und Sand noch Blätter, Stroh, kleine Baumzweige u. s. w. mit in die Höhe nehmen. Wirbelwinde von grösseren Dimensionen und grösserer mechanischer Gewalt werden Wettersäulen oder Tromben genannt. Wahrscheinlich werden sie durch den Kampf zweier in den oberen Luftregionen in entgegengesetzter Richtung wehenden Winde erzeugt. Wenn solche Wirbel über Land hinwegziehen, so bilden sie aus dem aufgewühlten Staub einen oben an Breite abnehmenden Kegel, welcher den Weg des Wirbels von weitem sichtbar macht; zieht aber das Meteor über das Meer, über Seen oder Flüsse hin, so wird in gleicher Weise das Wasser in wirbelnder Bewegung mit in die Höhe gerissen, und es entstehen die Wassertromben oder Wasserhosen.

Zwischen den Wendekreisen kommen die Wasserhosen nur in der Region der Calmen vor und zwar am häufigsten im Ostindischen Archipel und an der Guineaküste; doch sind sie auch im Rothen und Mittelländischen Meere nicht selten. Auch auf den Alpenseen und auf

dem Rheine erscheinen zuweilen Wasserhosen und ebenfalls in der Ostsee sind sie keineswegs selten.

Die Wettersäulen sind im Stande, Bäume zu entwurzeln, Häuser abzudecken, Balken mehrere hundert Schritte weit fortzuschleudern. Mohr giebt im 36. Bande von Poggendorff's Annalen eine sehr instructive Beschreibung einer am 1. Mai 1835 zu Coblenz beobachteten Trombe, welcher wir Folgendes entnehmen.

Um halb drei Uhr bildete sich am Fusse des Alexander-Forts, im Felde von Neuendorf, ein Wirbelwind, der rasch zu einer fürchterlichen Stärke heranwuchs, Sand und Staub aufwühlte und mit sich fortführte. Er nahm seine Richtung von Nordwest nach Südost, gerade auf die Landspitze zu, welche das linke Rhein- und das rechte Moselufer mit einander bilden. Eine Frau, welche mit einem Korbe auf dem Kopfe aus dem Felde kam, wurde durch die Trombe zu Boden geworfen und der Korb hoch durch die Luft auf die andere Rheinseite fortgeführt. Die Staubwolke, welche wirbelnd über die Erde fortzog, war grau von Farbe und undurchsichtig. Sie hatte eine schräge Lage nach der Strömung des Windes, in den höheren Regionen mit dem oberen und breiteren Theile nach vorn, den unteren schmäleren gleichsam nach sich ziehend. Sie hatte die scheinbare Form eines Trichters, dessen Spitze nach unten gekehrt einen Durchmesser von 30 bis 40 Fuss hatte, dessen oberer Durchmesser aber drei bis viermal so gross war. An Höhe hatte sie bald alle nahe gelegenen Häuser weit überstiegen.

Die Bewegung dieser Trombe war von einem fürchterlichen Sausen begleitet. Der erste höhere Gegenstand, welchen sie traf, war eine Saffianfabrik. Unter fürchterlichem Geprassel wurde das Dach des hinteren Gebäudes losgerissen und über das Hauptgebäude hinweg etwa 40 Schritte weit ins Feld geschleudert. Fenster wurden zertrümmert, Laden und Fensterflügel herausgerissen und alles weit herumgestreut. Die auf dem Speicher aufgehangenen Häute wurden von der Trombe fortgerissen, so dass man sie wie schwarze Vögel hoch in den Lüften dahinfliegen sah.

Von da bewegte sich die Trombe rasch gegen die etwa noch 100 Schritte entfernte Mosel hin, wo sich das ganze Schauspiel veränderte. Die Erdtrombe wurde nämlich eine Wasserhose; sie wühlte das Wasser in so wildem Brausen auf, dass es auf der ganzen Basis schäumend auf eine bedeutende Höhe wirbelnd hinaufgezogen wurde, während ausserhalb des Wirkungskreises der Wasserspiegel weder gestört noch getrübt wurde. Der Durchmesser des Trichters nahm über die Hälfte des Flussbettes ein. Auf der Landspitze angekommen, welche das rechte Mosel- mit dem linken Rheinufer bildet, an der Ecke des ehemaligen deutschen Hauses, schien die Trombe einige Augenblicke still zu stehen, setzte aber alsbald ihren Weg in gerader Richtung über den Rhein gegen Ehrenbreitstein hin fort.

Auf der rechten Rheinseite angekommen, warf sie das Wasser 8 bis 10 Fuss hoch auf das Land, nahm ein 60 Ellen langes Stück Leinen

Fig. 365.

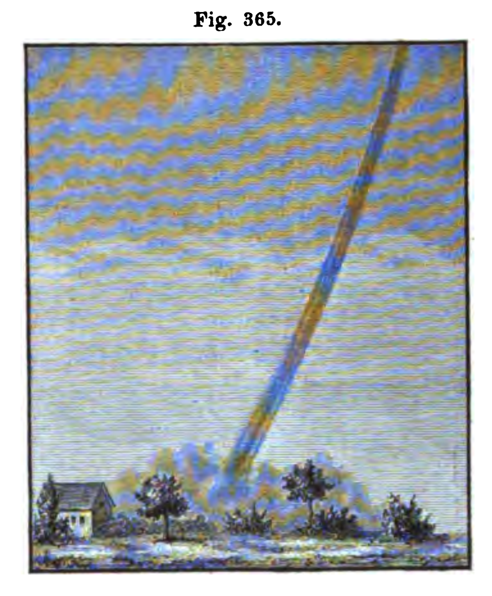
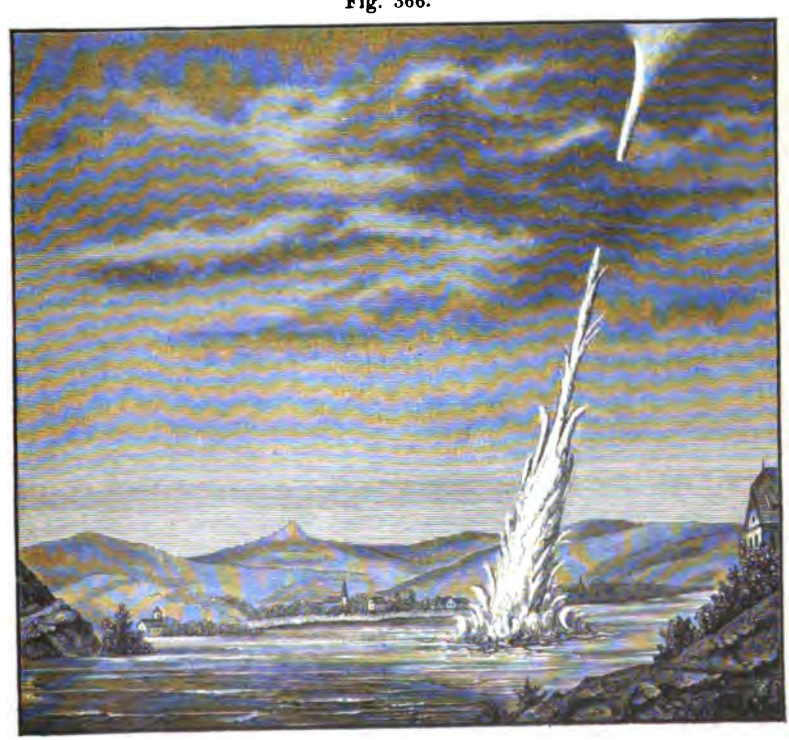


Fig. 366.

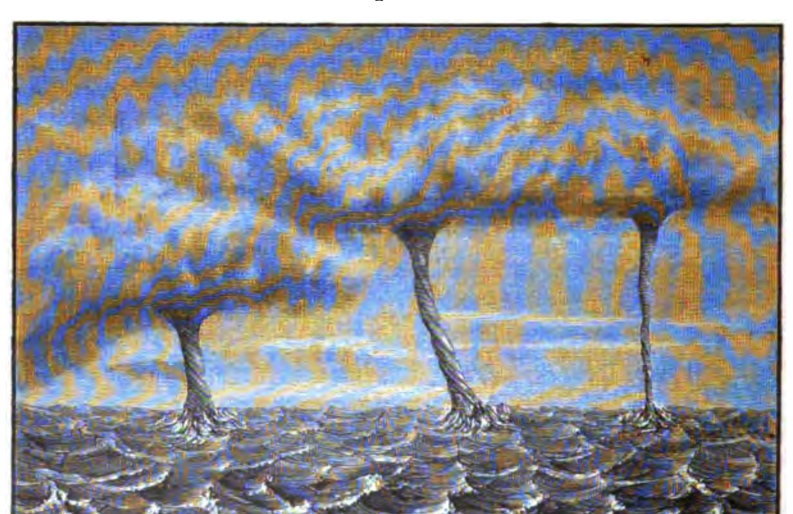


von der Bleiche hoch in die Luft, so dass man es wie eine Bandschleife umherflattern sah. Sieben Bäume von 6 bis 8 Zoll Durchmesser wurden abgebrochen, Aeste von 4 bis 6 Zoll Dicke abgerissen und umhergeschleudert, womit dann das Phänomen so ziemlich sein Ende erreichte.

Wenige Minuten nach dem Aufhören desselben fiel ein heftiger Platzregen mit starkem Hagel.

Fig. 365 u. 366 (a. v. S.) stellen eine Wasserhose dar, welche G. vom Rath am 10. Juni 1858 oberhalb Königswinter beobachtete (Poggend. Ann. CIV, 631). Die Wettersäule bildete sich zuerst bei dem Dorfe Honnef als Landtrombe, ungeheure Staubmassen aufwühlend; aus den feineren Staubtheilchen bildete sich eine als dunkler Streif erscheinende

Fig. 367.



Säule, Fig. 365, deren Höhe Rath auf 2000 Fuss schätzte. Als die Trombe in ihrer fortschreitenden Geschwindigkeit den Spiegel des Rheins erreichte, erhob sich das Wasser im Umfange eines Kreises, dessen Durchmesser 50 Schritte betragen mochte, und bildete eine Schaumsäule, Fig. 366, deren Anblick an einen gothischen Thurm erinnerte. Ein mittlerer Strahl sprang hoch über mehrere seitliche hervor, aus der Wolkenmasse aber senkte sich eine helle Wolkenspitze herab, welche sich nach einiger Zeit mit der Spitze der Wassersäule vereinigte, worauf dann der den Wasserspiegel mit den Wolken verbindende Streif seiner ganzen Länge nach in gleicher Breite erschien.

Zwischen Rolandseck und Mehlem erreichte die Trombe das linke Rheinufer, um alsbald wieder auf den Rhein zurückzukehren. Das Phänomen endete, nachdem es ungefähr 35 Minuten gedauert hatte, bei Rhöndorf auf dem rechten Rheinufer.

Von den Häusern, welche die Wettersäule traf, wurden die Ziegel heruntergeworfen, starke Aeste wurden von den Bäumen gerissen und die Saaten niedergelegt. Die Breite der so bezeichneten Bahn betrug im Durchschnitt 50 Schritt.

Zu Mentone wurden am 12. November 1872 gleichzeitig drei Wasserhosen beobachtet, deren Abbildung, Fig. 367, den „*illustrated London news*" entnommen ist. Die „Leipziger illustrirte Zeitung" vom 7. September 1872 enthielt eine Abbildung und Beschreibung eines ganz ähnlichen Phänomens, welches sich am 4. Juli auf dem Bodensee bildete.

Am 8. April 1833 wurde die Gegend von Calcutta von einem Wirbelwinde heimgesucht, welcher in Beziehung auf seine Grösse zwischen den eigentlichen Stürmen und den Tromben in der Mitte steht. Bei einem Durchmesser von 1200 bis 2500 Fuss ging dieser Wirbel drei englische Meilen östlich von Calcutta vorüber und legte in einem Zeitraume von 4 Stunden einen Weg von 15 englischen Meilen zurück. Er warf über 1200 Fischerhäuser um und tödtete 215 Menschen.

Telegraphische Witterungsberichte. Bereits im Eingange des dritten Buches ist erwähnt worden, welch grosser Unterschied zwischen der Sicherheit astronomischer und meteorologischer Vorausbestimmungen besteht. Unter vielen anderen Ursachen, welche diese Verschiedenheit bedingen, spielt aber auch jedenfalls der Umstand eine Rolle, dass die zu einer bestimmten Stunde an irgend einer einzelnen meteorologischen Station gemachten Beobachtungen die Data gar nicht enthalten, aus welchen man etwa auf die Veränderungen schliessen könnte, welche sich im Zustande der Atmosphäre vorbereiten. 243

Zu diesem Zwecke ist für den Zeitpunkt, in welchem man die zunächst zu erwartenden Witterungsänderungen ermitteln will, die Kenntniss der gleichzeitig über einem grösseren Umkreis herrschenden Witterungsverhältnisse unumgänglich nöthig, eine solche Kenntniss kann aber nur durch den elektrischen Telegraphen vermittelt werden.

Der erste, welcher diese Idee realisirte, dürfte wohl Le Verrier gewesen sein, welcher der Pariser Akademie nach den auf telegraphischem Wege eingegangenen meteorologischen Beobachtungen von verschiedenen Stationen eine Karte vorlegte, welche den atmosphärischen Zustand Frankreichs für den 26. Februar 1855 darstellte. Aus diesem Anfang gingen dann später die telegraphischen Witterungsberichte hervor, welche in dem Bulletin international de l'Observatoire de Paris zusammengestellt für jeden Tag eine Uebersicht des Zustandes der Atmosphäre von fast ganz Europa lieferten.

Seitdem hat sich in vielen Ländern die Wettertelegraphie sehr entwickelt. In Amerika wurden seit dem 1. September 1868 von Cleveland Abbe, Director der Sternwarte in Cincinnati, tägliche Wetterbulletins herausgegeben, und im Jahre 1870 das „Signal Service" gegründet, durch dessen Thätigkeit die Wettertelegraphie zu grosser

Vollkommenheit gelangt ist. Abweichend von Europa, werden in Amerika die Beobachtungen nicht um die gleiche Ortszeit, sondern zur absolut gleichen Zeit angestellt, ein System, welches zwar einige Vorzüge, dafür aber auch den Nachtheil hat, dass über solche Witterungserscheinungen, welche mit dem Stande der Sonne zusammenhängen, kein einheitliches Bild gewonnen wird. Von europäischen Staaten haben sich namentlich Frankreich, England, die Niederlande, Oesterreich, Italien, Russland, Schweden, Norwegen, Dänemark und Deutschland um die Ausbildung der täglichen Witterungsberichte verdient gemacht.

Einen Hauptantheil an dieser Ausbildung hat die Deutsche Seewarte in Hamburg gehabt, welche, aus kleinen Anfängen unter der Leitung v. Freeden's hervorgegangen, nach ihrer Uebernahme durch das Deutsche Reich im Jahre 1875, sich unter der Leitung G. Neumayer's zu einem grossartigen Institut entwickelt hat. Sie besteht aus folgenden vier Abtheilungen:

Abtheilung I. Die Organisation der meteorologischen Arbeit zur See innerhalb der deutschen Handelsmarine und die Verwerthung der durch diese Organisation zusammengetragenen Beobachtungen für die Wissenschaft überhaupt und zum Vortheile des deutschen Seeverkehrs insbesondere, bildet den Kern der dieser Abtheilung gestellten Aufgabe.

Abtheilung II. Diese Abtheilung befasst sich mit der Beschaffung und Prüfung sämmtlicher (mit Ausschluss der Chronometer) für die Zwecke des Institutes, der Zweigorgane desselben und dessen Mitarbeiter erforderlichen Instrumente. Eine besondere Aufgabe dieser Abtheilung bildet die Pflege der Wissenschaft der Deviation der Kompasse an Bord eiserner Schiffe, deren Anwendung in der praktischen Navigation und Weiterentwickelung:

Abtheilung III functionirt als Centralstelle für Wettertelegraphie, Küstenmeteorologie und das deutsche Sturmwarnungswesen, und entwickelt sich nach und nach zur Centralstelle für die ausübende Witterungskunde in Deutschland.

Abtheilung IV oder das Chronometer-Prüfungs-Institut hat sowohl die Aufgabe, in alljährlichen Concurrenz-Prüfungen die deutschen und schweizerischen Fabrikate auf dem Gebiete der Chronometermacher-Kunst zu prüfen, als auch die im Gebrauche befindlichen Instrumente der Handelsmarine den üblichen Untersuchungen zu unterwerfen.

An die Seewarte gehen täglich morgens gegen 100 Witterungs-Depeschen ein, 30 aus dem Inlande und 70 aus dem Auslande, ausserdem nachmittags 14 Depeschen aus dem Inlande und 11 aus dem Auslande, und abends (von Mitte September bis Mai) noch 10 aus dem Inlande und 11 aus dem Auslande. Die vollständigsten sind die Morgendepeschen; dieselben geben an:

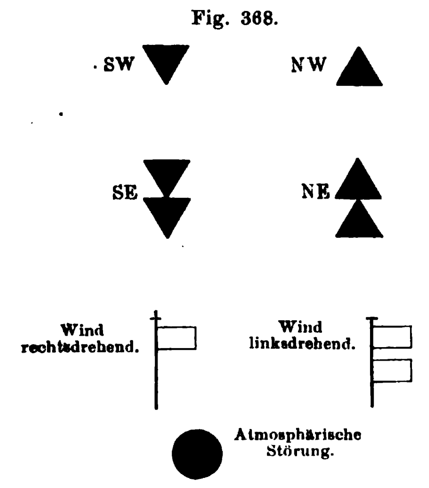
1. den Barometerstand;
2. die Windrichtung;
3. die Windstärke;

4. den Grad der Bewölkung;
5. die Angabe des trockenen Thermometers;
6. die Angabe des feuchten Thermometers;
7. die Regenhöhe innerhalb der letzten 24 Stunden;
8. die Maximaltemperatur } während der letzten 24 Stunden;
9. die Minimaltemperatur } während der letzten 24 Stunden;
10. die vorwiegende Form der Himmelsbedeckung;
11. die Form der oberen Wolken;
12. die Richtung der oberen Wolken;
13. die Richtung, in welcher die Wolken gestreift erscheinen.

Diese sämmtlichen Angaben lassen sich durch das angewandte Chiffrensystem durch fünf Zahlengruppen von je fünf Ziffern ausdrücken.

Auf Grund der täglichen Witterungsdepeschen werden nun auf der Seewarte tägliche Wetterberichte hergestellt, welche für 8 Uhr morgens, 2 Uhr nachmittags und 8 Uhr abends die Isobaren für Europa nebst Bezeichnung der Windrichtungen und des Grades der Bewölkung, sowie für 8 Uhr morgens die Isothermen, ausserdem eine tabellarische Uebersicht der eingegangenen Witterungsnachrichten enthalten. Ferner ist eine allgemeine Uebersicht der Witterung für 8 Uhr morgens, und eine kurze Wetterprognose für den folgenden Tag gegeben. Sobald Anzeichen für das Herannahen eines Sturmes vorhanden sind, erhalten die Küstenstationen telegraphische Anweisung zum Signalisiren derselben. Solche Signalstellen sind an folgenden Orten eingerichtet und stehen unter directer Leitung der Seewarte [1]):

Fig. 368.



Memel, Brüsterort, Pillau, Neufahrwasser, Hela, Rixhöft, Leba*, Stolpmünde, Rügenwaldermünde, Colbergermünde, Swinemünde, Ahbeck*, Thiessow*, Arkona, Wittower Posthaus*, Stralsund, Greifswalder-Oie, Darserort, Warnemünde, Wismar, Travemünde, Marienleuchte, Schleimünde, Friedrichsort, Flensburg*, Aarösund, Keitum*, Tönning, Altona, Glückstadt, Brunshausen*, Geestemünde, Brake*, Weserleuchtthurm, Cuxhaven, Bremerhaven, Neuwerk, Nesserland-Emden, Wilhelmshaven, Wangerooge, Karolinensiel*, Norderney, Borkum, Schillingshörn.

Orte ohne Signalapparate, welche Sturmwarnungen erhalten, sind:

---

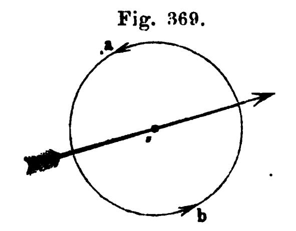
[1]) v. Bebber, Lehrb. der Meteorologie.

Stettin, Freiburg in Hannover, Fredrikkoog, Meyers-Legde, Helgoland, Burgstaken, Ort und Lübeck.

Ferner sind von den Regierungen in Königsberg, Stettin und Schleswig, sowie von Privaten, noch Signalstationen an folgenden Orten errichtet:

Neukrug, Balga, Cranz, Rossitten, Nidden, Palmnicken, Schwarzort, Fischhausen*, Windenburg, Inse*, Wehrdamm*, Nest* (bei Gross-Mölln), Neuendorf, Coserow, Heisternest (auf Hela), Oxhöft, Sarkau*, Göhren (Rügen), Rostock, Kiel, Labö*, Bülk, Ellerbeck*, Husum, Amrum, Ellenbogen (Sylt), Drochtersen*, Neuhaus* a. d. Oste, Otterndorf*, Dorum*.

Fig. 369.



Alle Stationen haben einen Signalmast; an den mit einem * bezeichneten Stationen wird nach Einlauf einer Warnungsdepesche eine Kugel aufgezogen, welche anzeigt, dass eine Depesche der Seewarte eingelaufen ist, deren Wortlaut auf der Signalstelle zu erfahren ist. Die übrigen Stationen haben zum Signalisiren zwei Kegel, eine Kugel und zwei rothe Flaggen, nach Bedürfniss auch eine rothe Laterne als Nachtsignal. Das Signalisiren geschieht in der Weise, wie Fig. 368 (a. v. S.) zeigt.

Eine wichtige Bemerkung, welche bei dem Herannahen eines barometrischen Minimums zu beachten ist, besteht darin, dass im nördlichen Europa, wo, wie wir gesehen haben, die barometrischen Depressionen vorwiegend von Westen nach Osten fortschreiten, im Allgemeinen die Winde auf der Nordost-, Nord- und Nordwestseite des Centrums von mässiger Stärke sind, während sie auf der Südwest-, Süd- und Südostseite mit grosser Heftigkeit wehen. Die Südhälfte des Wirbelsturmes ist also gefährlicher als die Nordhälfte. Es ist dies leicht zu erklären. In Fig. 369 stelle der kleine Kreis einen Wirbelsturm dar, welcher, wie dies ja für die europäischen Stürme der Fall ist, in einer dem Zeiger einer Uhr entgegengesetzten Richtung rotirt, und dessen Centrum in der Richtung des gefiederten Pfeiles fortschreitet, so ist klar, dass bei *a* die Rotationsrichtung des Wirbels der Richtung entgegengesetzt ist, nach welcher er fortschreitet, dass also hier der Wind nur mit der Differenz der beiden Geschwindigkeiten auftreten kann, während er bei *b* mit der Summe dieser beiden Geschwindigkeiten wüthet.

Drittes Capitel.

Die Hydrometeore.

Verbreitung des Wasserdampfes in der Luft. Wenn man an einem heissen Sommertage eine mit Wasser gefüllte Schale ins Freie stellt, so sieht man die Quantität des Wassers allmählich abnehmen; es verdunstet, das heisst: es geht in Dampfgestalt über und verbreitet sich in der Luft. Der Wasserdampf ist wie jedes andere farblose durchsichtige Gas für unsere Blicke nicht wahrnehmbar, das Wasser scheint, indem es verdunstet, gänzlich verschwunden zu sein. 244

Das in der Luft verbreitete Wasser wird erst wieder sichtbar, wenn es, in seinen flüssigen Zustand zurückkehrend, Nebel oder Wolken, Thau oder Reif bildet. Wenn man sich von der Existenz des Wasserdampfes in der Luft überzeugen will, muss man ihn auf irgend eine Weise verdichten.

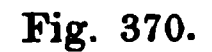
Ganz unmittelbar erhält man die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft enthaltenen Wasserdampfs, wenn man die Luft durch ein mit hygroskopischen Substanzen gefülltes Rohr saugt. Um ein regelmässiges Durchstreichen der Luft durch das Absorptionsrohr zu bewirken, wendet man einen Aspirator an. Es ist dies im Wesentlichen ein bis auf zwei Oeffnungen verschlossenes mit Wasser gefülltes Gefäss, wie man bei *D*, Fig. 373, S. 724, eines sieht. Aus der einen Oeffnung fliesst beständig Wasser ab, während die andere Oeffnung mit dem Absorptionsrohre in Verbindung steht, so dass hier ein dem ausfliessenden Wasser gleiches Volumen getrockneter Luft eintritt. Wie viel Wasserdampf in der durch das Absorptionsrohr gesaugten Luftmenge enthalten war, ergiebt sich, wenn man dies Rohr vor und nach dem Versuche wägt.

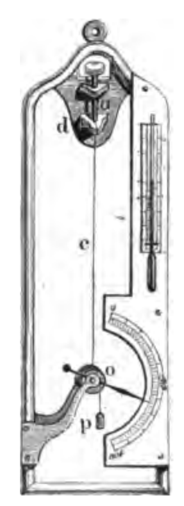
Die Bestimmungsweise des Wassergehaltes der Luft mit dem Aspirator, dem man verschiedene, bald mehr, bald weniger zweckmässige Formen gegeben hat, ist allerdings etwas umständlich und giebt auch nicht den Wassergehalt der Luft in einem bestimmten Momente, sondern den mittleren Wassergehalt während der ganzen Dauer des Versuches;

man hat deshalb kleinere, leichter transportable Apparate construirt, welche unter dem Namen der Hygrometer bekannt sind.

Es ist bekannt, dass viele organische Körper die Eigenschaft haben, Wasserdampf zu absorbiren und sich dabei verhältnissmässig zu verlängern. Unter anderen sind auch Haare, Fischbein u. s. w. solche hygroskopische Körper, und man benutzt sie deshalb zur Construction von Hygrometern. Ein Instrument der Art ist das von Saussure angegebene Haarhygrometer, welches Fig. 370 abgebildet ist.

Das Haar *c* ist mit seinem oberen Ende im Zängelchen *a* befestigt, das andere Ende desselben aber ist um eine mit zwei Rinnen versehene Rolle geschlungen, während in der zweiten Rinne um die Rolle ein Seidenfaden geschlungen ist, der ein kleines Gewicht *p* trägt, durch welches das Haar beständig gespannt erhalten wird. An der Axe der Rolle ist ein Zeiger befestigt, welcher auf einem Gradbogen hin und her geht, wenn die Rolle durch die Verlängerung oder Verkürzung des Haares gedreht wird.


Fig. 370.



Die Schraube am oberen Theile des Apparates dient dazu, die Länge des wirksamen Theils des Haares zu reguliren.

Wenn sich das Instrument in feuchter Luft befindet, so absorbirt das Haar viel Wasserdampf und wird dadurch länger, in trockener Luft aber verkürzt es sich, wodurch natürlich der Zeiger bald nach der einen, bald nach der anderen Seite gedreht wird.

Die Graduirung des Instrumentes wird auf folgende Weise bewerkstelligt. Zuerst bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren innerer Raum durch Chlorcalcium oder durch Schwefelsäure ausgetrocknet wird. Die Stelle der Scala, auf welcher sich der Zeiger unter diesen Verhältnissen feststellt, ist der Punkt der grössten Trockenheit; er wird mit 0 bezeichnet.

Nun bringt man das Instrument unter eine Glocke, deren Wände mit destillirtem Wasser befeuchtet sind, während auch auf dem Boden, auf welchem die Glocke steht, destillirtes Wasser ausgebreitet ist. Der Raum unter der Glocke sättigt sich bald mit Wasserdampf, und der Zeiger geht nach dem anderen Ende der Scala hin. Der Punkt, wo er sich jetzt feststellt, ist der Punkt der grössten Feuchtigkeit; er wird mit 100 bezeichnet.

Der Zwischenraum zwischen diesen beiden Punkten wird in hundert gleiche Theile getheilt, welche man Feuchtigkeitsgrade nennt.

Das auf diese Weise graduirte Hygrometer giebt zwar die äusserste Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft an, es zeigt, ob sich die Luft dem Sättigungspunkte mehr oder weniger nähert, man kann aber aus den Hygrometergraden keinen directen Schluss auf die Menge des Wasser-

dampfes in der Atmosphäre machen. Wie gross die jedem Hygrometergrade entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes in der Luft ist, kann nur auf empirischem Wege ermittelt werden.

Gay-Lussac verfuhr folgendermaassen: Er bestimmte zunächst das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes, welcher sich bei einer Temperatur von 10° über verschiedenen Salzlösungen bilden kann. Alsdann brachte er sein Instrument bei derselben Temperatur der Reihe nach mit diesen Flüssigkeiten unter die Glocke und notirte jedesmal die Grade, bei welchen sich das Instrument einstellte. Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche:

Namen der Flüssigkeit	Specifisches Gewicht bei 10° C.	Spannkraft des Dampfes, wenn man die Spannkraft des Wasserdampfes bei 10° mit 100 bezeichnet	Grade des Haarhygrometers, bei welchen sich der Zeiger für die verschiedenen Flüssigkeiten einstellte
Wasser	1,000	100,0	100,0
Lösung von Chlornatrium . .	1,096	90,6	97,7
desgl.	1,163	82,3	92,2
desgl.	1,205	75,9	87,4
Lösung von Chlorcalcium . .	1,275	66,0	82,0
desgl.	1,343	50,5	71,0
desgl.	1,397	37,6	61,3
Schwefelsäure	1,493	18,1	33,1
desgl.	1,541	12,2	25,3
desgl.	1,702	2,4	6,1
desgl.	1,848	0	0

Er fand also z. B., dass bei 10° die Wasserdämpfe über einer Auflösung von Chlorcalcium, deren specifisches Gewicht 1,275 ist, 66 Proc. von der Spannkraft der Wasserdämpfe besitzen, welche bei derselben Temperatur über reinem Wasser sich bilden; wenn aber das Hygrometer unter eine Glocke gebracht wird, deren Wände mit dieser Lösung befeuchtet sind, so stellt es sich auf 82°; man kann daraus den Schluss ziehen, dass der Theilstrich 82 des Hygrometers einen Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzeigt, welcher 66 Proc. des zur Sättigung nöthigen beträgt. Nach diesen Beobachtungen hat Gay-Lussac durch Interpolation eine Tabelle berechnet, welche den jedem einzelnen Hygrometergrade entsprechenden Feuchtigkeitsgehalt der Luft angiebt. Wir geben umstehend diese Tabelle nur von 10 zu 10°:

Hygrometergrade	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft	Hygrometergrade	Entsprechende Feuchtigkeit der Luft
0	0	60	36,28
10	4,57	70	47,19
20	9,45	80	61,22
30	14,78	90	79,09
40	20,78	100	100,00
50	27,79		

Wenn also das Hygrometer auf 60 Grad steht, so enthält die Luft 36,28 Procent desjenigen Wasserdampfes, welchen sie enthalten müsste, um gesättigt zu sein.

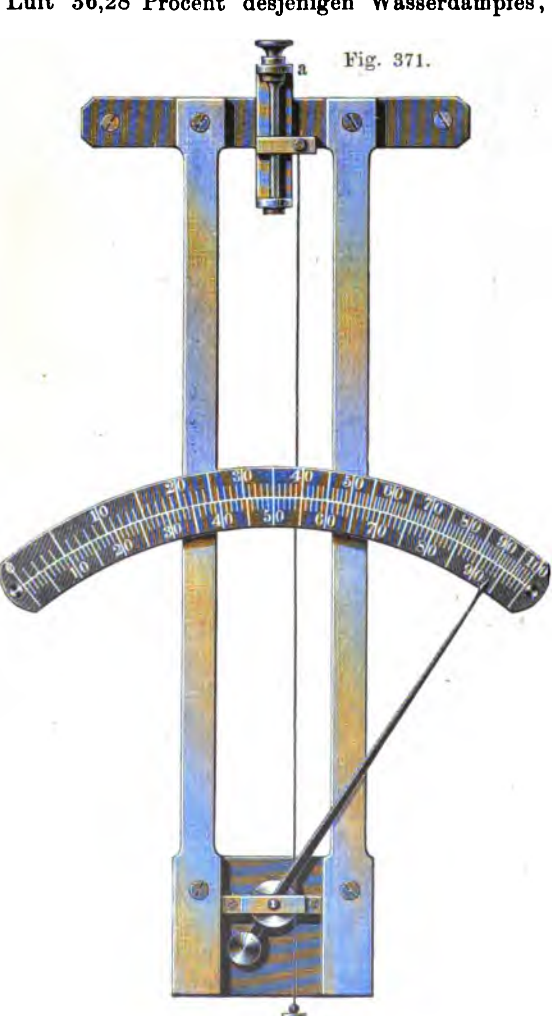


Fig. 371.

Diese Tabelle ist jedoch nur für Temperaturen ganz zulässig, welche nicht viel von 10^0 verschieden sind.

Regnault hat gleichfalls Untersuchungen über das Haarhygrometer angestellt. Er fand es zweckmässiger, die Haare mit Aether zu entfetten, statt sie in einer Sodalösung zu kochen, wie es Saussure angegeben hatte.

Er fand, dass Hygrometer, mit einerlei Art von Haaren construirt, welche auf gleiche Weise entfettet wurden, zwar nicht streng übereinstimmend zeigen, dass sie aber für die meisten Beobachtungen als vergleichbar betrachtet werden können; dass dagegen Hygrometer mit Haaren von verschie-

dener Natur und verschiedener Zubereitung sehr grosse Unterschiede in ihren Angaben zeigen können, selbst wenn sie an den Endpunkten mit einander stimmen.

Daraus geht klar hervor, dass man nicht eine für alle Haarhygrometer gültige Tabelle berechnen könne, sondern dass man eigentlich für jedes Instrument der Art Versuche in obiger Weise anstellen und aus diesen eine Tabelle berechnen müsse.

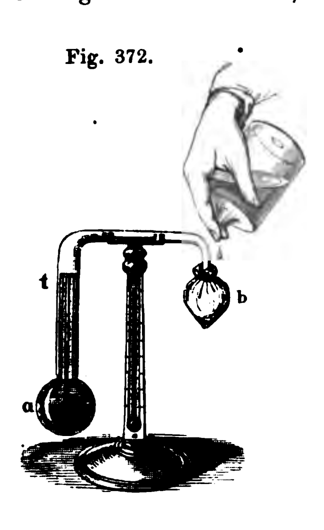
Fig. 371 stellt ein Haarhygrometer dar, wie dasselbe von Herrmann und Pfister in Bern verfertigt wird. Das Haar ist mit möglichster Sorgfalt von Fett befreit. Von ähnlicher Einrichtung ist das Koppe'sche Haarhygrometer.

Das Instrument ist mit zwei Scalen versehen, deren obere die relative Feuchtigkeit direct in Procenten angiebt, während bei der unteren der Zwischenraum zwischen dem Punkt der absoluten Trockenheit und dem der grössten Feuchtigkeit in 100 gleiche Theile getheilt ist.

Das registrirende Hygrometer der Berner Sternwarte ist ein Herrmann-Pfister'sches Haarhygrometer, dessen Scala allmonatlich mit Hülfe des Psychrometers controlirt wird. Die Markirung des Hygrometerstandes geschieht von zehn zu zehn Minuten auf galvanischem Wege ganz auf dieselbe Weise, wie die Markirung des Thermometerstandes, welches auf S. 490 besprochen wurde.

Daniell's Hygrometer ist in Fig. 372 dargestellt; es besteht aus einer gekrümmten Röhre, welche mit zwei Kugeln endigt; die eine, *a*, ist entweder vergoldet oder mit einer ganz dünnen glänzenden Platinschicht überzogen, die andere ist mit einem Läppchen feiner Leinwand umwickelt. Die Kugel *a* ist zur Hälfte mit Aether gefüllt und enthält ein kleines Thermometer, dessen Theilung in die Röhre *t* hineinragt. Der Apparat ist vollkommen luftleer. Wenn man nun Aether auf die Kugel *b* tröpfelt, so wird sie durch die Verdampfung desselben erkaltet, in ihrem Inneren werden Aetherdämpfe condensirt und dadurch eine Verdampfung des Aethers in der Kugel *a* bewirkt, indem gewissermaassen der Aether aus der wärmeren Kugel *a* in die kältere *b* überdestillirt. Bei der Dampfbildung in der Kugel *a* wird aber ebenfalls Wärme gebunden und sie beschlägt sich endlich mit einem zarten Thau. 245

Fig. 372.



Die Entstehung dieses Thaues lässt sich leicht erklären. Die Physik lehrt, dass im leeren Raume die Spannkraft des Wasserdampfes für eine bestimmte Temperatur eine gewisse Grenze nicht übersteigen kann, dass

aber das Maximum der Spannkraft mit der Temperatur steigt. Für eine Temperatur von 20° z. B. ist das Maximum der Spannkraft des Wasserdampfes 17,4 mm und die entsprechende Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,00001731; in einem luftleeren Raume von 1 cbm können also bei einer Temperatur von 20° höchstens 17,31 g Wasser in Form von Dampf enthalten sein.

Wir wissen aber ferner, dass in einem lufterfüllten Raume gerade ebensoviel Wasserdampf enthalten sein kann, als in einem gleich grossen luftleeren Raume, und dass sich in diesem Falle die Spannkraft der Luft und die Spannkraft des in ihr verbreiteten Wasserdampfes summiren. Bei einer Temperatur von 20° können also in einem Cubikmeter Luft ebenfalls 17,31 g Wasser als Dampf enthalten sein.

Man sagt, die Luft sei mit Wasserdampf **gesättigt**, wenn der in ihr verbreitete Wasserdampf das ihrer Temperatur entsprechende Maximum der Spannkraft und Dichtigkeit erreicht hat.

Bringt man in eine mit Feuchtigkeit gesättigte Luft einen kälteren Körper, so wird dieser die nächsten Luftschichten erkalten, ein Theil des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes wird sich verdichten müssen und setzt sich in Form von feinen Tröpfchen an den kalten Körper an. Auf diese Weise bildet sich der Beschlag an den Fensterscheiben in einem bewohnten erwärmten Zimmer, wenn die Temperatur der äusseren Luft niedrig genug ist, um die Fensterscheiben hinlänglich zu erkalten.

Nicht immer ist die Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, d. h. es ist nicht immer in derselben gerade soviel Wasserdampf enthalten, als sie bei ihrer Temperatur aufnehmen könnte. Nehmen wir z. B. an, jedes Cubikmeter Luft enthielte bei einer Temperatur von 20° C. nur 13,63 g Wasserdampf, so ist sie nicht gesättigt; denn bei dieser Temperatur könnte ja jedes Cubikmeter Luft 17,31 g Wasserdampf enthalten. Die Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes bei 16° ist aber gleich 0,00001363; für eine Temperatur von 16° wäre also die Luft gesättigt. Man müsste also die Luft bis unter 16° erkalten, wenn eine Verdichtung von Wasserdampf stattfinden sollte.

Die Temperatur, für welche eben die Verdichtung des Wasserdampfes beginnt, die Temperatur also, für welche die Luft gerade mit Wasserdampf gesättigt ist, heisst der **Thaupunkt**.

Der Thaupunkt ist es nun, welchen man am Daniell'schen Hygrometer beobachtet; sobald nämlich die Kugel *a* bis zur Temperatur des Thaupunktes erkaltet ist, fängt diese Kugel an sich zu beschlagen; die Temperatur des Thaupunktes liest man unmittelbar an dem in die Kugel *a* hineinragenden Thermometer ab.

Die folgende Tabelle giebt den Wassergehalt der mit Dampf gesättigten Luft für den Thaupunkt von — 20° bis + 29° C. an.

Temperatur des Thaupunktes Grad	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes mm	Gewicht des Wasserdampfes in 1 cbm Luft g	Temperatur des Thaupunktes Grad	Entsprechende Spannkraft des Wasserdampfes mm	Gewicht des Wasserdampfes in 1 cbm Luft g
— 20	0,927	1,2	13	11,162	11,2
— 15	1,400	1,8	14	11,908	11,9
— 10	2,093	2,5	15	12,699	12,6
— 5	3,113	3,5	16	13,536	13,5
0	4,600	4,8	17	14,421	14,3
1	4,940	5,2	18	15,357	15,2
2	5,302	5,6	19	16,346	16,1
3	5,687	5,9	20	17,391	17,0
4	6,097	6,3	21	18,495	18,1
5	6,534	6,7	22	19,659	19,3
6	6,998	7,2	23	20,888	20,4
7	7,492	7,7	24	22,184	21,5
8	8,017	8,3	25	23,550	22,7
9	8,574	8,8	26	24,988	24,2
10	9,165	9,3	27	26,505	25.9
11	9,792	10,0	28	28,101	27,5
12	10,457	10,6	29	29,782	30,0

Wenn uns das Hygrometer für den Thaupunkt 12° C. angiebt, so ersehen wir aus dieser Tabelle, dass jedes Cubikmeter Luft 10,6 g Wasserdampf enthält; wäre der Thaupunkt 17° C., so enthielte jedes Cubikmeter 14,3 g Wasserdampf u. s. w.

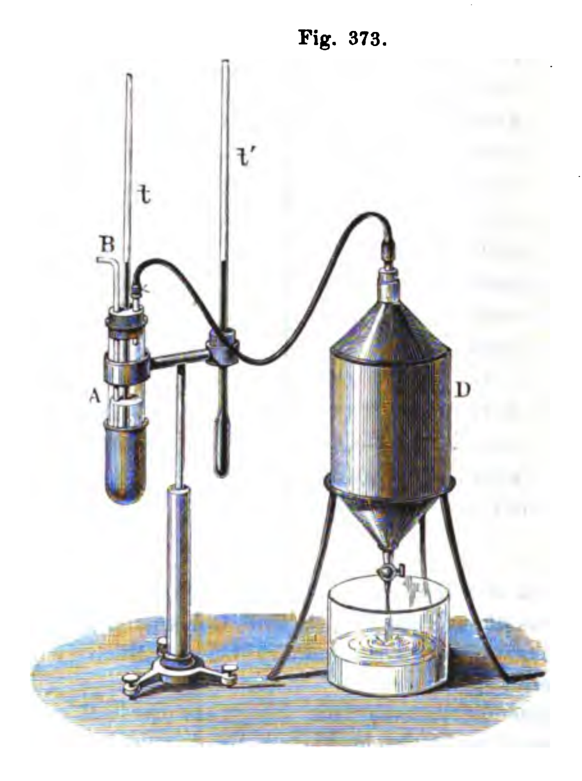
Zur Bequemlichkeit für die Berechner der auf meteorologischen Stationen gemachten Beobachtungen hat man solche Tabellen berechnet, welche die Spannkraft des gesättigten Wasserdampfes für alle Temperaturen von — 24 bis + 35° C. jeweils um 0,1° fortschreitend angeben.

Gegen die Genauigkeit der Angaben des Daniell'schen Hygrometers lassen sich mit Recht folgende Einwendungen machen: Der Aether in der Kugel *a* ist an der Oberfläche kälter als an den tieferen Stellen; die Handhabung des Apparates erfordert eine längere Anwesenheit des Beobachters in der Nähe desselben, wodurch sowohl die Temperatur als auch der Feuchtigkeitsgehalt der Luft modificirt wird; die Menge des Aethers, welche auf der Kugel *b* verdampft, äussert ebenfalls einen Einfluss auf den hygrometrischen Zustand der Luft, welcher noch dadurch verschlimmert wird, dass der käufliche Aether nie ganz wasserfrei ist.

Schon lange hat Döbereiner auf die Schwierigkeit aufmerksam gemacht, mit dem Daniell'schen Hygrometer genaue Resultate zu erhalten; er construirte ein anderes, auf demselben Principe beruhendes Instrument, welches jedoch nicht so beachtet worden zu sein scheint, wie es verdient.

Später hat Regnault ein Instrument angegeben, welches als eine Vervollkommnung des eben erwähnten Döbereiner'schen angesehen werden kann. Am unteren Ende der Glasröhre A, Fig. 373, ist ein

Fig. 373.



fingerhutartiges Gefäss von dünnem polirtem Silberblech befestigt, welches ungefähr 20 mm Durchmesser hat und 45 mm hoch ist. Oben ist die Glasröhre A mit einem Kork verschlossen, welcher drei Löcher hat. Durch das eine derselben geht die Röhre B hindurch, welche fast bis auf den Boden des Silbergefässes reicht; durch die zweite Oeffnung geht die Röhre eines Thermometers, dessen Gefäss sich ungefähr in der Mitte des Silbergefässes befindet. Ein kurzes Glasröhrchen, welches nur eben bis unter den Kork reicht, steckt in der dritten Oeffnung. Von diesem Röhrchen führt ein Gummischlauch zu dem mit Wasser gefüllten Aspirator D.

Das silberne Gefäss und die Glasröhre sind ungefähr so weit mit Aether gefüllt, wie die Figur zeigt. Wird nun der Hahn des Aspirators geöffnet, so fliesst hier das Wasser aus, in gleichem Maasse aber muss Luft durch das Rohr B einströmen, welche durch den Aether in A in Form von Bläschen aufsteigt, und dadurch eine rasche Verdunstung desselben bewirkt, in Folge deren sich das Silbergefäss von aussen beschlägt.

Die Temperatur des Thaupunktes wird am Thermometer t, die der umgebenden Luft am Thermometer t' abgelesen.

Der Beobachter steht am Aspirator D und beobachtet das Silbergefäss und die Thermometer durch ein Fernrohr.

Wenn das Silbergefäss die Temperatur des Thaupunktes erreicht hat, so reicht die geringste Verzögerung des Wasserausflusses hin, um den Beschlag verschwinden zu machen, während eine Beschleunigung des Ausflusses ihn vermehrt.

Das Döbereiner'sche Instrument unterscheidet sich von dem Regnault'schen im Wesentlichen nur dadurch, dass bei ersterem die Luft mittelst einer Druckpumpe durch den Aether des Silbergefässes hindurch getrieben wird.

August's Psychrometer ist in Fig. 374 (a. f. S.) dargestellt; es be- **246**
steht aus zwei an einem und demselben Gestelle befestigten Thermometern; die Kugel des einen (in unserer Figur die des Thermometers links) ist vollkommen frei, so dass dieses Thermometer die Temperatur der Luft angiebt. Die Kugel des zweiten Thermometers ist mit einem Musselinläppchen umwickelt, welches mit destillirtem oder Regenwasser befeuchtet sein muss. Die Befeuchtung geschieht entweder, wie dies z. B. auf den Stationen des preussischen Beobachtungsnetzes der Fall ist, dadurch, dass man $^1/_4$ Stunde vor der Beobachtung ein Gefäss voll Wasser von unten her über die Kugel schiebt und dann nach Entfernung des Gefässes den noch an der Kugel hängenden Tropfen wegnimmt, oder es hängt von dem die Kugel umgebenden Läppchen bis in ein untergestelltes Glasgefäss ein Docht hinab, wie dies Fig. 374 erläutert, so dass das Musselinläppchen, welches die Kugel umgiebt, durch Haarröhrchenwirkung beständig feucht erhalten wird. Fig. 375 (a. f. S.) zeigt eine andere Form des Psychrometers, welche wohl ohne weitere Erläuterung verständlich ist.

Das Wasser in der Kugelhülle wird nun verdunsten, und zwar um so rascher, je weiter die Luft von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Die Verdunstung des Wassers ist aber von einer Wärmebindung begleitet, in Folge deren das umwickelte Thermometer tiefer steht als das trockene. Wenn die Luft vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt ist, wie dies bei starkem Nebel der Fall ist, so wird kein Wasser verdampfen können, die beiden Thermometer stehen alsdann gleich hoch; ist aber die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt, so wird das Quecksilber in dem umwickelten Thermometer sinken, und zwar um so tiefer, je weiter die Luft

von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Aus der Temperaturdifferenz der beiden Thermometer kann man auf den Feuchtigkeitszustand der Luft schliessen.

Behufs der Psychrometerbeobachtungen ist auf den deutschen meteorologischen Stationen in demselben Gehäuse, welches das zur Beobachtung der Lufttemperatur dienende Thermometer enthält, noch

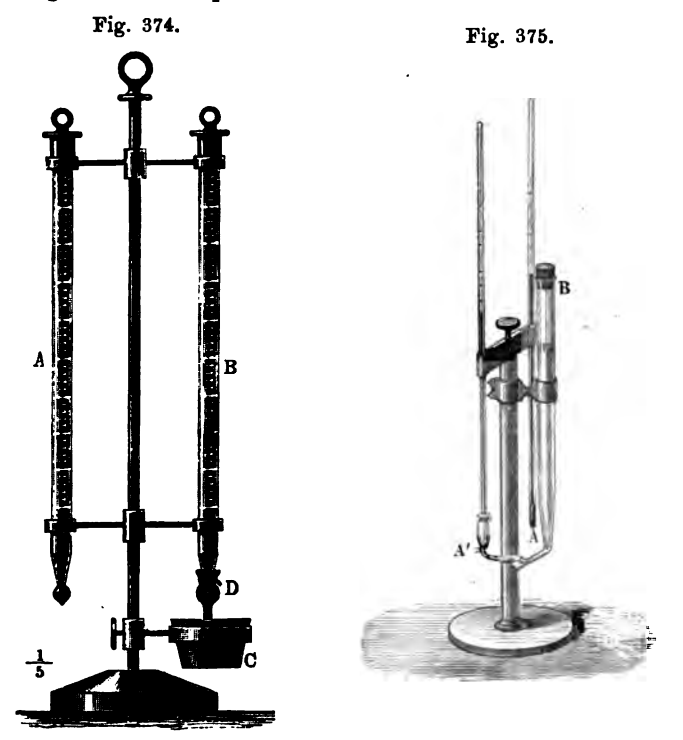


Fig. 374. Fig. 375.

ein zweites mit umwickelter Kugel angebracht, wie man dies auch in Fig. 277, Seite 483, sieht.

Wenn ein hinreichend starker Luftzug stattfindet, so wird sich die an der nassen Thermometerkugel vorbeistreichende Luft mit Wasserdampf sättigen, sie wird aber einen Theil ihrer Wärme zur Dampfbildung abgeben; das nasse Thermometer zeigt die Temperatur an, bis zu welcher die Luft an dieser Kugel erkaltet und für welche sie sich mit Wasserdampf sättigt. Nehmen wir an, das nasse Thermometer zeige 16^0, so sehen wir daraus, dass die Luft, welche an der umwickelten Kugel vorbeistreicht, auf 16^0 erkaltet wird, und dass sie dieselbe für diese Temperatur gesättigt verlässt. Wäre die ganze Luftmasse für die Temperatur von 16^0 mit Wasserdampf gesättigt, so würde jedes Cubikmeter Luft 13,5 g Wasserdampf enthalten; so viel Wasserdampf enthält sie aber in der That nicht, denn sie nimmt ja an der nassen Kugel, bis zu 16^0 erkaltend,

noch Wasserdampf auf; der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre ist also von der Art, dass jedes Cubikmeter Luft weniger als 13,5 g Wasserdampf enthält.

Die Menge des Wasserdampfes, welche die Luft aufnimmt, indem sie an der nassen Kugel vorbeistreicht, ist der ihr entzogenen Wärmemenge, also auch der Temperaturdifferenz d des trockenen und des feuchten Thermometers proportional. Wir können also die Quantität des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter der nach und nach an der nassen Kugel vorbeistreichenden Luft aufnimmt, mit cd bezeichnen.

Bezeichnen wir ferner mit M das Maximum des Wasserdampfes, welchen ein Cubikmeter Luft bei der Temperatur des nassen Thermometers enthalten kann, die Quantität des Wasserdampfes also, welchen die Luft wirklich enthält, welche am nassen Thermometer vorbeigestrichen ist, so besteht diese Quantität M aus zwei Theilen, der Quantität cd nämlich, welche sie an der Kugel aufgenommen hat, und der Quantität m, welche sie schon enthielt; es ist also:

$$M = m + cd$$

oder:

$$m = M - cd \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 1)$$

In dieser Formel bezeichnet, wie erwähnt, m den Wassergehalt der Luft, d die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer, M den Wassergehalt der Luft, wenn sie für die Temperatur des nassen Thermometers gesättigt wäre, und c einen constanten Factor, welcher durch Versuche ermittelt werden muss.

Durch vergleichende Versuche mit dem Psychrometer und dem Daniell'schen Hygrometer ergab sich etwa $c = 0{,}60$.

Wenn im Winter das Wasser an der überzogenen Thermometerkugel gefroren ist, so kann man es entweder in diesem Zustande belassen, oder, was sich im Allgemeinen mehr empfiehlt, das alte Eis wegschmelzen und die Kugel mit einer neuen gleichmässigen Eisschicht überziehen. Dies geschieht auf die Weise, dass man ein Gefäss mit Wasser von unten an das Thermometer bringt, so dass die Kugel in dasselbe eintaucht. Man bemerkt dann sofort ein Steigen des Thermometers, bis der Nullpunkt erreicht ist; auf diesem bleibt das Thermometer stehen, bis alles Eis von der Kugel weggeschmolzen ist, alsdann beginnt es weiter zu steigen. Nun entfernt man das Wassergefäss, beseitigt an der Kugel den sich dort bildenden Tropfen, und macht die Ablesung, wenn das Thermometer nunmehr seinen tiefsten Stand erreicht hat.

Um nicht für jede Beobachtung erst den Wassergehalt der Luft berechnen zu müssen, hat man Tabellen berechnet, in welchen man, wie in der folgenden, für jede Lufttemperatur und jede beobachtete Differenz der beiden Thermometer den Wassergehalt der Luft gleich aufsuchen kann.

Temperatur der Luft in Graden nach Celsius	Differenz des trockenen und befeuchteten Thermometers												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
— 20	0,9												
— 19	1,0												
— 18	1,1												
— 17	1,2	0,6											
— 16	1,3	0,8											
— 15	1,4	0,9											
14	1,5	1,0											
— 13	1,6	1,1											
— 12	1,8	1,2											
— 11	1,9	1,4											
— 10	2,1	1,5											
— 9	2,3	1,7											
— 8	2,5	1,8	1,0										
— 7	2,7	2,0	1,2										
— 6	2,9	2,2	1,4										
— 5	3,1	2,5	1,7										
— 4	3,4	2,7	1,9										
— 3	3,7	3,0	2,2	1,3									
— 2	4,0	3,2	2,4	1,6									
— 1	4,3	3,5	2,7	1,8									
0	4,6	3,8	3,0	2,1	1,3								
+ 1	4,9	4,1	3,3	2,4	1,6								
+ 2	5,3	4,4	3,5	2,7	1,9	1,0							
+ 3	5,7	4,8	3,8	3,0	2,2	1,3							
+ 4	6,1	5,2	4,2	3,3	2,4	1,6							
+ 5	6,5	5,6	4,6	3,5	2,6	1,8							
+ 6	7,0	6,0	5,0	4,0	2,9	2,0							
+ 7	7,5	6,5	5,4	4,4	3,3	2,3	1,4						
+ 8	8,0	7,0	5,9	4,8	3,7	2,7	1,7						
+ 9	8,6	7,5	6,4	5,3	4,1	3,1	2,1						
+ 10	9,2	8,1	6,9	5,8	4,7	3,5	2,5	1,5					
+ 11	9,8	8,7	7,5	6,3	5,2	4,0	2,9	1,9					
+ 12	10,5	9,3	8,1	6,9	5,7	4,5	3,4	2,3	1,3				
+ 13	11,2	9,9	8,7	7,4	6,3	5,0	3,9	2,8	1,7				
+ 14	11,9	10,7	9,3	8,1	6,8	5,6	4,4	3,3	2,2	1,1			
+ 15	12,7	11,4	10,0	8,7	7,5	6,1	5,0	3,8	2,7	1,6			
+ 16	13,5	12,2	10,8	9,5	8,1	6,9	5,5	4,3	3,2	2,1			
+ 17	14,4	13,1	11,6	10,2	8,8	7,5	6,2	4,9	3,7	2,6	1,5		
+ 18	15,4	13,9	12,4	11,0	9,6	8,2	6,8	5,5	4,3	3,1	2,0		
+ 19	16,4	14,8	13,3	11,8	10,4	9,0	7,5	6,2	4,9	3,7	2,5	1,5	
+ 20	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,7	8,3	6,9	5,6	4,3	3,1	1,9	
+ 21	18,5	16,9	15,2	13,6	12,1	10,6	9,1	7,6	6,3	5,0	3,7	2,5	
+ 22	19,7	17,9	16,3	14,6	13,0	11,5	10,0	8,4	7,0	5,7	4,4	3,1	1,9
+ 23	20,9	19,1	17,4	15,6	14,0	12,4	10,9	9,2	7,8	6,4	5,1	3,8	2,5
+ 24	22,2	20,3	18,5	16,7	15,0	13,4	11,8	10,1	8,7	7,2	5,8	4,5	3,2
+ 25	23,6	21,7	19,7	17,9	16,1	14,4	12,7	11,1	9,5	8,0	6,6	5,2	3,9
+ 26	25,0	22,9	20,9	19,1	17,2	15,5	13,8	12,1	10,5	8,9	7,4	6,0	4,6
+ 27	26,5	24,4	22,3	20,3	18,4	16,6	14,8	13,1	11,5	9,9	8,3	6,8	5,4
+ 28	28,1	25,9	23,8	21,7	19,7	17,8	16,0	14,2	12,5	10,8	9,2	7,7	6,2
+ 29	29,8	27,5	25,3	23,1	21,1	19,1	17,2	15,4	13,6	11,9	10,2	8,6	7,1
+ 30	31,6	29,2	26,9	24,7	22,5	20,5	18,5	16,6	14,7	13,0	11,3	9,6	8,0
+ 31	33,4	30,9	28,5	26,2	24,0	21,9	19,8	17,9	16,0	14,1	12,4	10,6	9,0
+ 32	35,4	32,8	30,3	27,9	25,6	23,4	21,3	19,2	17,3	15,4	13,5	11,7	10,0
+ 33	37,4	34,7	32,2	29,7	27,3	25,0	22,8	20,6	18,6	16,6	14,8	12,9	11,1
+ 34	39,6	36,8	34,2	31,5	29,0	26,7	24,5	22,2	20,0	18,0	16,1	14,1	12,3
+ 35	41,8	39,0	36,2	33,5	30,9	28,4	26,1	23,8	21,6	19,4	17,4	15,4	13,5

Man findet in dieser Tabelle den Wassergehalt eines Cubikmeters Luft, in Grammen ausgedrückt, für die jedesmalige Lufttemperatur und die gleichzeitig beobachtete Differenz der beiden Thermometer, wenn man in der Horizontalreihe, deren äusserste Ziffer links die Lufttemperatur angiebt, bis zu der Verticalreihe herübergeht, welche mit der beobachteten Differenz der beiden Thermometer überschrieben ist. So findet man z. B. für die Lufttemperatur von 20°, wenn das nasse Thermometer auf 15° steht, wenn also die Temperaturdifferenz der beiden Thermometer 5° ist, den Wassergehalt der Luft gleich 9,7, d. h. in diesem Falle enthält jedes Cubikmeter Luft 9,7 g Wasserdampf.

Den Instructionen für die meteorologischen Stationen der Schweiz, Russlands, Deutschlands und anderer Länder sind ähnliche psychrometrische Tafeln von viel grösserem Umfang beigegeben, in welchen die Temperaturen des trockenen Thermometers sowie die Temperaturdifferenzen oder die Temperaturen des feuchten Thermometers nicht von Grad zu Grad, sondern von zehntel zu zehntel Grad fortschreiten, welche also (weil auf weitere Temperaturgrenzen berechnet) eine mehr als 100 Mal grössere Ausdehnung haben, als die Tabelle auf Seite 728.

Kennt man den absoluten Wassergehalt der Luft, so erhält man die relative Feuchtigkeit derselben, wenn man den absoluten Wassergehalt durch das Maximum des Wasserdampfes dividirt, welches die Luft bei der Temperatur des trockenen Thermometers aufnehmen kann.

So finden wir z. B. in unserem Beispiel für + 20° C. aus der ersten Columne, indem wir also die Angaben der beiden Thermometer als gleich, und somit die Luft als mit Feuchtigkeit gesättigt ansehen, den Wassergehalt der Luft = 17,4. Wir haben demnach für die relative Feuchtigkeit den Betrag $\frac{9,7}{17,4} = 0,56$, wofür man aber 56 annimmt, da die relative Feuchtigkeit in Procenten ausgedrückt wird. Den Thaupunkt erhält man, wenn man mit dem Dunstdruck als Argument in die zweite Columne der Tafel auf S. 723 eingeht, und die entsprechende Zahl aus der ersten Columne entnimmt. So ergiebt sich für den Dunstdruck 9,7 der Thaupunkt = 10,8°.

Die grösseren psychrometrischen Tafeln enthalten nicht allein den absoluten, sondern auch den relativen Wassergehalt der Luft, welcher den Psychrometerablesungen entspricht.

Die aus den Psychrometer-Beobachtungen abgeleiteten Werthe des Wassergehaltes der Luft sind jedoch nur dann der Wahrheit entsprechend, wenn am Instrumente ein genügender Luftwechsel stattfindet, wenn dasselbe also nicht von einer stagnirenden Luftmasse umgeben ist.

Tägliche Variationen im Wassergehalte der Luft. Da 247
bei hoher Temperatur mehr Wasserdampf in der Luft verbreitet sein kann, da mit steigender Wärme das Wasser an der Oberfläche der Gewässer und vom feuchten Boden mehr und mehr verdunstet, so lässt

sich wohl erwarten, dass der Wassergehalt der Luft im Laufe eines Tages ab- und zunehmen wird. Die Gesetze der täglichen Variationen des Wassergehaltes der Atmosphäre sind besonders durch lange Versuchsreihen von Neuber in Apenrade, von Kupffer in Petersburg und von Kämtz in Halle und auf den Alpen ermittelt worden.

Die folgende Tabelle giebt für Halle die mittlere Spannkraft für die einzelnen Tagesstunden in den Monaten Januar, April, Juli und October in Millimetern an.

Stunden	Januar mm	April mm	Juli mm	October mm
Mittag	4,29	6,15	11,62	8,27
1	4,32	6,05	11,42	8,29
2	4,34	6,08	11,32	8,23
3	4,33	6,09	11,22	8,15
4	4,28	6,09	11,18	8,10
5	4,25	6,09	11,25	8,06
6	4,24	6,12	11,36	8,10
7	4,22	6,15	11,68	8,07
8	4,20	6,13	11,76	7,96
9	4,18	6,10	11,75	7,88
10	4,15	6,05	11,67	7,80
11	4,14	6,03	11,52	7,72
Mitternacht	4,11	6,02	11,33	7,66
1	4,09	5,99	11,15	7,59
2	4,09	5,93	11,05	7,52
3	4,08	5,88	11,07	7,43
4	4,08	5,84	11,21	7,36
5	4,07	5,87	11,44	7,34
6	4,06	5,96	11,68	7,44
7	4,06	6,08	11,96	7,49
8	4,05	6,25	12,11	7,75
9	4,07	6,34	12,05	8,06
10	4,12	6,35	11,89	8,23
11	4,21	6,28	11,72	8,28
Mittel	4,17	6,08	11,52	7,87

Nach dieser Tabelle sind die Variationen des Wassergehaltes der Luft während eines Tages für den Monat Juli in Figur 1, Tabelle 20, graphisch, und zwar in der unteren Curve, dargestellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten der Spannkraft des Wasserdampfes proportional aufgetragen, und zwar so, dass einer Spannkraftsdifferenz von 1 mm eine Höhendifferenz von 3 mm entspricht. Man sieht, dass der Wassergehalt der Luft zwei Maxima hat, eines gegen 9 Uhr Abends und ein zweites gegen 9 Uhr Morgens. Ferner zeigt der Wassergehalt der

Luft zwei Minima, eines um 4 Uhr Nachmittags und eines kurz vor Sonnenaufgang.

Wenn mit Sonnenaufgang die Temperatur steigt, vermehrt sich auch die Menge des Wasserdampfes in der Luft, jedoch dauert dies nur bis 9 Uhr, wo ein durch die starke Erwärmung des Bodens veranlasster aufwärtssteigender Luftstrom die Dämpfe mit in die Höhe nimmt, so dass der Wassergehalt der unteren Luftschichten geringer wird, obgleich bei immer zunehmender Wärme die Bildung der Dämpfe fortdauert; diese Abnahme dauert bis gegen 4 Uhr; von hier an nimmt der Wassergehalt der unteren Luftschichten wieder zu, weil jetzt die nach oben gerichtete Luftströmung aufhört, den sich bildenden Wasserdampf wegzuführen; jedoch dauert diese Zunahme nur bis gegen 9 Uhr Abends, weil nun die immer mehr sinkende Temperatur der Luft der ferneren Dampfbildung eine Grenze setzt.

Im Winter, wo die Wirkung der Sonne weniger intensiv ist, verhält sich die Sache anders; im Januar beobachtet man nur ein Maximum des Wassergehaltes der Luft um 2 Uhr Nachmittags und ein Minimum zur Zeit des Sonnenaufganges.

Die obere Curve der Fig. 1, Tab. 20, zeigt uns das Maximum der Spannkraft, welches der Wasserdampf bei der, jeder Tagesstunde des Monats Juli entsprechenden mittleren Temperatur erreichen könnte. Da die beiden Curven für die Zeit des Sonnenaufgangs sich einander sehr nähern, so ist also um diese Zeit die Luft sehr nahe mit Feuchtigkeit gesättigt. Mit steigender Temperatur nimmt nun zwar anfangs die absolute Menge des Wasserdampfes in der Luft zu, doch nicht im Verhältniss der Temperaturzunahme, der Wassergehalt der Luft entfernt sich also immer mehr von dem ihrer Temperatur entsprechenden Sättigungspunkte oder auch, mit anderen Worten, die Differenz zwischen der Temperatur der Luft und dem Thaupunkte wird immer grösser.

Die relative Feuchtigkeit hat sich in Königsberg aus 45jährigen Beobachtungen für die einzelnen Monate des Jahres und der Stunden $7a$, $2p$ und $9p$ folgendermaassen ergeben:

	$7a$	$2p$	$9p$	Mittel
Januar	89,2	85,2	89,0	87,8
Februar	88,6	81,1	87,0	85,4
März	87,1	74,1	85,1	82,1
April	82,1	62,0	80,0	74,6
Mai	78,0	56,8	77,8	70,8
Juni	78,7	58,3	79,8	72,3
Juli	81,6	60,2	81,7	74,6
August	84,9	61,5	82,5	76,3
September	88,2	66,4	85,1	79,9
October	89,0	74,3	86,3	83,2
November	89,6	83,2	88,5	87,1
December	89,3	85,7	88,7	87,9
Jahr	87,2	70,7	84,3	80,1

Hieraus ergiebt sich, dass die relative Feuchtigkeit immer um zwei Uhr mittags am geringsten ist, dass sie ferner im Mai ihr Minimum und im December und Januar ihr Maximum erreicht.

Wir sagen „die Luft ist trocken“, wenn das Wasser rasch verdunstet und wenn befeuchtete Gegenstände durch dieses rasche Verdunsten schnell trocken werden; dagegen sagen wir „die Luft ist feucht“, wenn befeuchtete Gegenstände an der Luft nur langsam oder gar nicht trocknen, wenn die geringste Temperaturerniedrigung feuchte Niederschläge bewirkt, und wenn etwas kältere Gegenstände sich mit Feuchtigkeit überziehen. Wir nennen also die Luft trocken, wenn sie weit von ihrem Sättigungspunkt entfernt ist, feucht dagegen, wenn der Thaupunkt der Temperatur der Luft sehr nahe liegt; mit diesem Urtheile über die Trockenheit oder Feuchtigkeit der Luft verbinden wir also durchaus kein Urtheil über den absoluten Wassergehalt der Luft. Wenn an einem heissen Sommertage bei einer Temperatur von 25° C. jedes Cubikmeter Luft 13 g Wasserdampf enthält, so sagen wir, die Luft sei sehr trocken, denn bei dieser Temperatur könnte jedes Cubikmeter Luft 23,6 g Wasserdampf enthalten (siehe die Tabelle S. 728) oder die Luft müsste bis auf 15° C. erkaltet werden, um bei unverändertem Wassergehalte gesättigt zu sein. Wenn sie dagegen im Winter bei einer Temperatur von + 4° C. nur 6 g Wasserdampf enthält, so ist die Luft sehr feucht, weil die Luft für die herrschende Temperatur beinahe vollständig mit Wasserdampf gesättigt ist und die geringste Temperaturerniedrigung schon einen Niederschlag zur Folge hat.

In diesem Sinne können wir also sagen, dass zur Zeit des Sonnenaufganges die Luft am feuchtesten ist, obgleich der absolute Wassergehalt geringer ist als zu jeder anderen Tageszeit. Gegen drei Uhr Nachmittags ist im Sommer die Luft am trockensten.

Die Zeit der beiden Maxima und der beiden Minima des Wassergehaltes der Luft fällt nahe mit den Wendestunden der täglichen Periode des Barometers zusammen, so dass man offenbar sieht, wie diese Perioden durch die Variationen des Wassergehaltes der Luft bedingt sind.

Auf hohen Bergen befolgen die Veränderungen im Dampfgehalte der Luft ein anderes Gesetz, weil der aufsteigende Luftstrom die Wasserdämpfe aus der Tiefe in die Höhe führt. Die unterste der beiden Curven Fig. 2, Tab. 20, stellt nach den Beobachtungen von Kämtz die Veränderungen dar, welche die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes im Laufe eines Julitages auf dem Rigi erleidet. Man übersieht aus dieser Curve, dass der absolute Wassergehalt der Luft in der Höhe nur ein tägliches Maximum und nur ein tägliches Minimum hat. Auch in der Höhe nimmt der Wassergehalt der Luft von Sonnenaufgang an zu, diese Zunahme dauert aber bis Mittag, während in der Tiefe der Wassergehalt von 9 Uhr an schon wieder abnimmt, weil der aufsteigende Luftstrom, welcher die Abnahme des Wassergehaltes in der Tiefe veranlasst, die dort weggeführten Dämpfe in die Höhe bringt. Von drei

Uhr Nachmittags an, wenn die Stärke des aufsteigenden Luftstroms nachlässt, nimmt der Wassergehalt in der Tiefe wieder zu, in der Höhe nimmt er aber fortwährend ab, weil bei stets abnehmender Temperatur kein Wasserdampf mehr in die Höhe gebracht wird, sondern umgekehrt die Wasserdämpfe sich in die Tiefe senken. Die obere der beiden Curven in Fig. 2, Tab. 20, giebt an, wie gross im Juli auf dem Rigi zu jeder Stunde die Spannkraft des atmosphärischen Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt sein würde, wenn die Luft stets vollkommen gesättigt wäre. In der Höhe ist dieser Beobachtungsreihe zufolge die Luft viel feuchter, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte viel näher als in der Tiefe; denn die beiden Curven sind für den Rigi fast parallel und nicht weit von einander entfernt, während, wie man aus Fig. 1, Tab. 20, sieht, diese beiden Curven für tiefer gelegene Orte einen sehr ungleichen Lauf haben, und für die Stunden vor und nach Mittag sehr weit von einander abstehen.

Die Fig. 3 und 4 auf Tab. 20 stellen nach dem fünften Jahrgange der schweizerischen meteorologischen Beobachtungen den mittleren täglichen Gang der relativen Feuchtigkeit zu Bern und beim Simplon-Hospiz (574 und 2008 m über dem Meeresspiegel) für die Monate Januar und Juli im Jahre 1868 dar. Diese Curven zeigen, dass Winters und Sommers die relative Feuchtigkeit der Luft fast für alle Tagesstunden in der Höhe viel bedeutender ist als in der Tiefe, obgleich der absolute Wassergehalt der Luft mit ihrer Temperatur um so mehr abnimmt, je höher man sich über den Meeresspiegel erhebt.

Jährliche Variationen des Wassergehaltes der Luft. 248

Die Tabelle (a. f. S.) giebt den mittleren Wassergehalt der Luft für die einzelnen Monate des Jahres zu Halle.

Der absolute Wassergehalt der Luft ist wie die mittlere Lufttemperatur im Januar ein Minimum; er nimmt bis zum Juli zu, wo er sein Maximum erreicht, dann aber nimmt er wieder ab bis zu Ende des Jahres.

Die letzte Columne dieser Tabelle unter der Ueberschrift „Relative Feuchtigkeit“ giebt an, wie viel Procente des bei der mittleren Temperatur des Monats möglichen Maximums des Wassergehaltes im Durchschnitt in der Luft enthalten sind. Im December ist also im Durchschnitt die Luft am feuchtesten, d. h. sie ist ihrem Sättigungspunkte am nächsten; im August aber ist die Luft am trockensten, obgleich ihr absoluter Wassergehalt in diesem Monate sehr gross ist, weil sie sehr weit von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist. Im August ist der Wassergehalt der Luft im Durchschnitt nur 61 Proc. von der Quantität Wasserdampf, welche in der Luft enthalten sein müsste, wenn sie bei der mittleren Temperatur dieses Monats gesättigt sein sollte. In diesem Sinne sind also November, December, Januar und Februar die feuchtesten, Mai, Juli und August die trockensten Monate des Jahres.

Monate	Spannkraft des Wasserdampfes mm	Relative Feuchtigkeit Proc.
Januar	4,509	85,0
Februar	4,749	79,9
März	5,107	76,4
April	6,247	71,4
Mai	7,836	69,1
Juni	10,843	69,7
Juli	11,626	66,5
August	10,701	61,0
September	9,560	72,8
October	7,868	78,9
November	5,644	85,3
December	5,599	86,2
Im Mittel		75,2

249 **Feuchtigkeit der Luft in verschiedenen Gegenden.** Die Bildung des Wasserdampfes ist vorzugsweise von zwei Bedingungen abhängig, nämlich von der Temperatur und von der Gegenwart von Wasser. Bei einem unbegrenzten Wasservorrathe werden sich um so mehr Wasserdämpfe bilden, je höher die Temperatur ist; bei gleicher Temperatur aber werden sich in wasserreichen Gegenden mehr Dämpfe bilden können als in wasserarmen. Daraus folgt nun, dass der absolute Wassergehalt der Luft unter sonst gleichen Umständen von dem Aequator nach den Polen hin abnehmen muss und dass sie im Inneren der grossen Continente trockener, d. h. weiter von ihrem Sättigungspunkte entfernt ist, als auf dem Meere und an den Meeresküsten. Wie sehr die Trockenheit der Luft mit der Entfernung vom Meere zunimmt, beweist schon die Heiterkeit des Himmels der Binnenländer. Die Hygrometerbeobachtungen, welche Humboldt und G. Rose in verschiedenen Gegenden von Sibirien gemacht haben, beweisen ebenfalls die ausserordentliche Trockenheit der Atmosphäre in diesen Gegenden. In der Steppe von Platowskaya fanden sie, dass bei einer Temperatur von 23,7° C. die Differenz der beiden Thermometer des Psychrometers 11,7° betrug, dass also die Luft ungefähr nur 16 Proc. des Wasserdampfes enthielt, den sie für diese Temperatur möglicher Weise aufnehmen könnte.

Ein anderes Beispiel ausserordentlicher Trockenheit beobachtete d'Abbadie in Abyssinien. Zu Abbay am Blauen Nil zeigte das trockene Thermometer des Psychrometers 37,1° C., das feuchte 19,9° C.; die Differenz der beiden Thermometer, 17,2°, geht also über die Grenzen der Tabelle auf S. 728 hinaus. Mit Hülfe der Gl. 1) auf S. 727 ergiebt

sich aber, dass das Cubikmeter Luft nur 7 g Wasserdampf enthielt, während es bei 37,1° C. 42,5 g Wasserdampf enthalten könnte. Der Thaupunkt lag bei + 6° C.

Während eines Samums fand derselbe Beobachter am Ufer des Rothen Meeres die Temperatur der Luft im Schatten 42,7° C., während das feuchte Thermometer 20,6° C. zeigte. Ein Cubikmeter Luft enthielt demnach nur noch 4 g Wasserdampf, also nur 1/15 des bei 42,7° C. möglichen Wassergehaltes (Poggend. Annal. Bd. LXVIII).

Von einzelnen extremen Fällen ganz abgesehen, ist auch die mittlere relative Feuchtigkeit der Luft für verschiedene Gegenden sehr ungleich; sie beträgt, wie wir im vorigen Paragraphen gesehen haben, für Halle 75,2 Proc.

Als Mittel aus vierjährigen Beobachtungen fand Möhl für Cassel 79,4 Proc.

Als Mittel aus zwölfjährigen Beobachtungen fand Lose für Crefeld 73 Proc., während daselbst die mittlere tägliche Schwankung 19 Proc. beträgt. Das absolute Minimum der relativen Feuchtigkeit, welches während dieser Periode beobachtet wurde, betrug nur 12 Proc.

Nach Karsten beträgt die mittlere relative Feuchtigkeit der Luft zu Kiel 82,1 Proc., das absolute Minimum geht daselbst nicht unter 24 Proc. herab.

Nach den Beobachtungen des Physikalischen Vereins zu Frankfurt a. M. betrug daselbst die

	mittlere relative Feuchtigkeit	niedrigste relative Feuchtigkeit	
1870	63,88 Proc.	20,3 Proc. am	9. Juli
1871	67,40 „	27,0 „ „	24. Mai
1872	67,86 „	27,4 „ „	12. April
1873	67,68 „	31,0 „ „	15. April
Mittel	66,7 Proc.		

Nach den Ergebnissen der badischen meteorologischen Stationen betrug die mittlere relative Feuchtigkeit für

	Höhe über dem Meere	1870	1871	1872
Meersburg	447 m	76 Proc.	78 Proc.	— Proc.
Höhenschwand . . .	1012 „	81 „	84 „	85 „
Freiburg	293 „	72 „	73 „	— „
Mannheim	116 „	71 „	76 „	77 „

Für die Jahre 1865 und 1866 fand man die mittlere relative Feuchtigkeit für

	Höhe über d. Meere	
St. Theodul	3330 m	82 Proc.
Beatenberg	1150 „	79 „
Genf	408 „	78 „
Basel	278 „	75 „

Nach diesen Zusammenstellungen ist die relative Feuchtigkeit der Luft für höher gelegene Stationen eine grössere als an benachbarten tiefer liegenden. Dagegen haben Saussure in den Alpen und Humboldt in Centralamerika die Luft in grossen Höhen trockener gefunden als in der Ebene. Wir werden weiter unten sehen, wie dieser Gegensatz für die Nähe von Gletschern und Firnfeldern seine Erklärung findet.

In den östlichen Theilen von Nordamerika ist die relative Feuchtigkeit der Luft geringer als an den Westküsten von Europa; sie beträgt nach den Publikationen des „Smithsonian Institution" nur

67	Proc.	für	New-York
68	„	„	Philadelphia
68	„	„	St. Louis.

Nach den Annalen des physikalischen Centralobservatoriums zu Petersburg ergiebt sich als Mittel aus mehreren Jahren die relative Feuchtigkeit für

Tiflis	67	Proc.
Nertschinsk	68	„
Orenburg	76	„
Petersburg	82	„
Sitka	84	„

Auf der schweizerischen Naturforscherversammlung, welche im Jahre 1853 zu Pruntrut gehalten wurde, hielt Desor einen Vortrag über das Klima der Vereinigten Staaten von Nordamerika und seinen Einfluss auf die Sitten und Gebräuche ihrer Bewohner, aus welchem sich die hohe Bedeutung ergiebt, welche der Wassergehalt der Atmosphäre auf die klimatischen Verhältnisse eines Landes ausübt.

Bei gleicher mittlerer Jahreswärme und nahezu gleichem jährlichen Gange der Temperatur zeigt doch das Klima eines Ortes in Nordamerika noch grosse Verschiedenheiten von dem der Westküste von Europa, welche den deutschen Auswanderern sehr auffallend sind und sie zu manchen Aenderungen ihrer Gewohnheiten nöthigen. — Die Wäsche trocknet rascher; die Brotvorräthe, welche man in Europa mehrere Wochen lang aufbewahren kann, werden dort in wenigen Tagen ungeniessbar, weil das Brot zu rasch austrocknet. — Die Ernten sind in Nordamerika weniger unsicher als in Europa. — In Nordamerika kann man ohne Nachtheil für die Gesundheit in ein eben erst vollendetes Haus einziehen, man hat nicht nöthig, erst auf das Austrocknen der Wände zu warten; dagegen haben die Schreiner mit grossen Schwierigkeiten zu kämpfen, indem Holz, welches man in Europa für hinlänglich ausgetrocknet halten würde, um es für Möbel zu verwenden, zu Boston und New-York in kurzer Zeit reisst; auch müssen die Schreiner in Amerika viel stärkeren Leim anwenden als in Europa.

Alle diese Erscheinungen deuten darauf hin, dass die Luft an den Ostküsten von Nordamerika im Durchschnitt weit trockener ist als an den Westküsten von Europa.

Da nun aber weder die Regenmenge noch die Anzahl der Regentage in Nordamerika geringer ist als in Europa, so kann der erwähnte Unterschied nur dadurch bedingt sein, dass dort bei schönem Wetter die Atmosphäre weniger mit Feuchtigkeit beladen ist als bei uns. Die Luft bleibt nicht, wie in England und Westeuropa, immer ihrem Sättigungspunkte nahe. Sobald es aufgehört hat zu regnen und der Wechsel des Windes schönes Wetter bringt, geht das Hygrometer augenblicklich herunter und der Thaupunkt sinkt bedeutend unter die Temperatur der Luft.

Die Ursache dieser grösseren Trockenheit ist leicht zu erklären. In Amerika ist Südwest der herrschende Wind, wie in Europa; an den Westküsten von Europa kommt aber dieser Wind mit Feuchtigkeit beladen an, weil er bei seiner Berührung mit dem Atlantischen Ocean viel Wasserdampf aufnehmen konnte, der Südwest ist bei uns also Regenwind. Anders an den Ostküsten von Nordamerika; dort kommen die Südwestwinde erst an, nachdem sie einen weiten Weg über Land und über ziemlich hohe Gebirge zurückgelegt haben, wo sie sich ihrer Feuchtigkeit entledigen, weshalb sie nur selten Regen bringen.

Der Thau. Wenn man an einem schwülen Sommertage aus einem 250
kühlen Gewölbe eine Flasche kalten Wassers ins Freie bringt, so beschlägt sie, d. h. sie wird in kurzer Zeit mit zarten Wassertröpfchen bedeckt, es setzt sich Thau auf derselben ab.

Der Grund dieser Erscheinung ist leicht anzugeben. Die mit der Flasche zunächst in Berührung tretenden Luftschichten werden erkaltet; da die kältere Luft aber nicht so viel Wasserdampf aufnehmen kann, wie die wärmere, so muss diese Erkaltung nothwendig die Ausscheidung eines Theiles des bisher in jenen Schichten enthaltenen Wasserdampfes zur Folge haben, die condensirten Wasserdämpfe setzen sich aber in Form von Thau auf dem Körper ab, von welchem die Erkaltung ausgeht.

Eine ganz analoge Erscheinung ist das Beschlagen der Fensterscheiben eines bewohnten warmen Zimmers, wenn dieselben von Aussen her erkaltet werden.

Die starke Erkaltung, welche alle Körper der Erdoberfläche in heiteren windstillen Nächten in Folge der nächtlichen Strahlung erleiden (s. §. 198), muss aber in gleicher Weise eine Ausscheidung von Wasserdämpfen in den untersten Luftschichten zur Folge haben, welche sich in Form von Thautropfen auf dem Erdboden, auf Steinen, Gras, Laub etc. ansetzen.

Da nicht alle Körper gleiches Wärmestrahlungsvermögen haben, so erkalten auch einige stärker als andere und so kommt es, dass manche Körper stark mit Thau überzogen sind, während andere fast ganz trocken

bleiben. Gras und Blätter erkalten besonders stark durch die nächtliche Strahlung, theils weil sie ein sehr starkes Strahlungsvermögen besitzen, theils aber auch, weil sie frei in die Luft hineinragen, so dass vom Boden aus nur wenig Wärme zugeleitet werden kann; man findet sie deshalb stärker bethaut als die Steine und den nackten Boden.

Bei der französischen Expedition nach Constantine im October 1836 litten mehr als 100 Mann an erfrorenen Füssen, Händen und Lippen, obgleich das Thermometer nie unter den Gefrierpunkt sank. Der Boden aber, auf welchem man sich nächtlich lagerte, erkaltete viel tiefer.

Alles, was die nächtliche Strahlung hindert oder vermindert, hindert oder vermindert auch die Thaubildung. Wells legte auf ein Brett, welches in horizontaler Lage durch vier Stützen 1 m hoch über dem Boden gehalten wurde, 10 Gran Wolle und befestigte eine gleiche Quantität Wolle auf der unteren Fläche des Brettes. Nach einer heiteren Nacht ergab sich, dass das obere Wollbüschel 14 Gran, das untere nur 4 Gran Feuchtigkeit aufgenommen hatte.

Wenn man über einer Wiese in der Höhe von zwei bis drei Fuss ein Leintuch ausspannt, so wird der durch das Tuch gegen die nächtliche Strahlung geschützte Theil der Wiese nicht bethaut, während in der ganzen Umgebung eine starke Thaubildung stattfindet.

Dadurch erklärt sich auch, warum bei bewölktem Himmel keine Thaubildung stattfindet.

Dass der Thau nicht etwa, wie man früher meinte, ähnlich dem Regen, aus der Luft herabfällt, hat Wells durch folgenden Versuch bewiesen. Auf den Boden eines oben offenen Cylinders von gebranntem Thon, welcher $^1/_3$ m Durchmesser und 1 m Höhe hatte, wurde ein Bündel von 10 Gran Wolle gelegt. Obgleich nun dieses Bündel nach oben hin in keiner Weise geschützt war, so nahm es doch im Laufe einer heiteren Nacht nur 2 Gran Feuchtigkeit auf, während ein in der Nähe ganz frei auf den Boden gelegtes Bündel Wolle in der gleichen Zeit durch Thau um 16 Gran schwerer wurde.

Selbst bei heiterem Himmel thaut es nicht, wenn ein etwas lebhafter Wind weht, weil er stets von Neuem warme Luft mit dem Boden in Berührung bringt und so theilweise wenigstens den Wärmeverlust ersetzt, welcher durch die nächtliche Strahlung veranlasst wird.

Der Reif ist nichts Anderes als ein gefrorener Thau. Wenn der Körper, an welchem sich der condensirte Wasserdampf absetzt, unter 0^0 erkaltet ist, so kann er sich nicht mehr in flüssiger Gestalt, sondern nur in Form von Eiskrystallen absetzen.

251 **Einfluss der Gletscher auf die atmosphärische Feuchtigkeit.** Wenn die atmosphärische, nicht ganz mit Wasserdampf gesättigte Luft mit irgend einem feuchten Körper in Berührung ist, so wird an dieser feuchten Oberfläche entweder Verdampfung stattfinden, wenn die Temperatur derselben höher ist, oder es wird eine der Thau-

bildung entsprechende Condensation von atmosphärischem Wasserdampf stattfinden, wenn die Temperatur desselben niedriger ist als der Thaupunkt der Luft.

Aus langjährigen Beobachtungen, welche zu Genf angestellt worden sind, haben Chr. Dufour und Forel ermittelt, dass die mittlere Temperatur des Wassers an der Oberfläche des Sees meist namhaft höher ist, als der Thaupunkt der darüber streichenden Luft. Im Mai und Juni ist die Temperatur des Seewassers durchschnittlich um 3° höher, als der Thaupunkt der Luft. Vom Juli an wird die Differenz grösser, um im December ihr Maximum zu erreichen, wenn der Thaupunkt der Luft 8° unter der Temperatur des Seewassers liegt. Im Allgemeinen wird also an der Oberfläche des Sees Wasser verdampfen. Nur ausnahmsweise steigt an einzelnen sehr feuchten Tagen der Thaupunkt der Luft über die Temperatur des Seewassers, so dass eine Condensation von Wasserdampf an der Oberfläche des Sees stattfindet. Im Jahre 1867 war dies nur an 21 Tagen der Fall, während an 344 Tagen Verdampfung stattfand.

Gerade umgekehrt gestaltet sich die Sache im Hochgebirge, wo die Luft mit ausgedehnten Schnee- und Firnfeldern, sowie mit Gletschern in Berührung kommt, deren Temperatur nicht so veränderlich ist, wie die des Sees, indem dieselbe nie über 0° steigen und nur im Winter unter 0° sinken kann, während der Thaupunkt der Luft, welche über die Schnee- und Eisfelder hinzieht, meist über dem Gefrierpunkt liegt.

An der Oberfläche der Gletscher, sowie der Schnee- und Firnfelder, wird also im Allgemeinen Condensation von Wasserdampf stattfinden müssen, welche die Luft trocken macht und nur in seltenen Fällen, wenn der Thaupunkt der Luft unter 0° gesunken ist, kann eine, wenn auch nur unbedeutende Verdampfung eintreten.

Dufour und Forel haben diese theoretischen Consequenzen durch Versuche bestätigt, von denen wir nur einige anführen wollen. Am 5. März 1870, Nachmittags 2 Uhr, wurde in einem Garten zu Morges eine Schüssel von 20 cm Durchmesser, welche mit Schnee gefüllt 711 g wog, ins Freie gestellt. Nach einer Stunde war der Schnee zum Theil geschmolzen, das Gewicht der Schüssel hatte aber um 3 g zugenommen. Nach psychrometrischen Bestimmungen war der Thaupunkt der Luft während jener Zeit 4,4° C. und ihre Temperatur 10,3°.

Bei einem ähnlichen Versuch, welcher im Mai angestellt, und bei welchem gestossenes Eis statt Schnee angewandt wurde, betrug der Thaupunkt der Luft im Durchschnitt 13° und es ergab sich, dass die Quantität des auf einer Eisfläche von 1 qm Oberfläche in einer Stunde niedergeschlagenen Wassers 410 g betrug, was auf eine geographische Quadratmeile (55 000 000 qm) die enorme Wassermenge von 22 550 cbm ausmacht.

Allerdings sind die thermischen und hygrometrischen Verhältnisse der über den Gletschern und Schneefeldern schwebenden Luft andere

als in einem Garten in der Nähe des Genfer Sees; im Hochgebirge ist die Luft weniger warm und ihr Thaupunkt liegt tiefer als in der Ebene; immerhin muss aber auch dort eine bedeutende Condensation stattfinden, und um diese zu constatiren, stellten Dufour und Forel im Juli und August 1870 ähnliche Versuchsreihen auf der Oberfläche des Rhonegletschers an.

Die Temperatur der Luft schwankte während dieser Versuche zwischen 4,2 und 10,8° C., ihr Thaupunkt zwischen 0,6 und 3,5° und die Menge des stündlich niedergeschlagenen Wassers zwischen 50 und 360 g für 1 qm. Nehmen wir im Mittel die stündliche Condensation für 1 qm zu 150 g an, so macht dies für eine Schnee- und Eisfläche von einer Quadratmeile schon 8250 cbm Wasser in der Stunde. Die Oberfläche aller Gletscher, Schnee- und Firnfelder des Rhonegebietes bis zum Genfer See beträgt aber 18 Quadratmeilen, sie liefern also unter den angegebenen Verhältnissen durch Condensation 150 000 cbm Wasser in der Stunde und 3 600 000 cbm in 24 Stunden.

Da die Gletscher und Schneefelder der Luft durch Condensation bedeutende Mengen von Wasserdampf entziehen, so tragen sie wesentlich zu ihrer Trockenheit in den Regionen des ewigen Schnees bei, die Allen bekannt ist, welche das Hochgebirge durchwandern und welche sich durch rasches Trocknen nasser Kleider, durch schnelles Austrocknen der Lebensmittel, durch unbedeutende Absonderung von Schweiss u. s. w. bemerklich macht. Die Trockenheit der Luft, welche auf Schneefeldern und Gletschern ruht, wird auch durch psychrometrische Versuche bestätigt, welche Dufour und Forel im Juli und August 1870 zu allen Tagesstunden, theils bei dem Gasthaus zum Rhonegletscher, theils in einer Entfernung von 900 m von demselben auf dem Gletscher selbst anstellten. Jedes Cubikmeter Luft enthielt beim Gasthaus im Durchschnitt 8 g, auf dem Gletscher dagegen nur 5,5 g Wasserdampf.

Die oben besprochene massenhafte Condensation von Wasserdampf durch Schneefelder und Gletscher bewirkt aber auch ein bedeutendes Wegschmelzen von Schnee und Eis. Durch Condensation von 1 g Wasserdampf werden nämlich 540 Wärmeeinheiten frei, d. h. so viel Wärme als nöthig ist, um die Temperatur von 540 g Wasser um 1° C. zu erhöhen. Diese frei werdende Wärme kann aber keine Erwärmung der umgebenden Luft bewirken, weil sie nur zur Schmelzung von Schnee und Eis verbraucht wird. Zur Schmelzung von 1 g Schnee oder Eis sind aber nur 80 Wärmeeinheiten nöthig, die Wärme, welche durch Condensation von 1 g Wasserdampf frei wird, reicht also hin, um $^{540}/_{80}$, also 6,7 g Eis zu schmelzen, die Condensation des Wasserdampfes vermehrt also in kolossaler Weise die Wassermenge, welche den Schneefeldern und Gletschern entströmt und trägt also wesentlich zu ihrem Abschmelzen und ihrem Rückgang bei.

Die Condensation des Wasserdampfes durch Schnee und Eis erklärt auch den Nutzen des Winterschnees für die Ernährung der Quellen.

Es ist eine bekannte Erfahrung, dass nach schneereichen Wintern die Quellen reichlicher fliessen als nach regnerischen. Das Wasser, welches als Regen herabfällt, dringt nur theilweise in den Boden ein, ein grosser Theil desselben verdampft an der Oberfläche des feuchten Bodens. Das Wasser dagegen, welches in Form von Schnee herabfällt, bewirkt eine namhafte Condensation von Wasserdampf aus der Luft und die dadurch vermehrte Wassermenge kann bei allmählichem Wegschmelzen des Schnees viel vollständiger in den Boden eindringen als das rasch abfliessende Regenwasser.

Nebel und Wolken. Wenn die Wasserdämpfe, aus einem Topf 252
mit kochendem Wasser aufsteigend, sich in der kälteren Luft verbreiten, so werden sie alsbald verdichtet, es entsteht der Schwaden, welcher aus einer Menge kleiner hohler Wasserbläschen besteht, die in der Luft schweben. Man nennt diese Schwaden auch öfters Dampf, doch ist es kein eigentlicher Dampf mehr, wenigstens kein Dampf im physikalischen Sinne des Wortes; denn es ist ja ein verdichteter Dampf.

Wenn die Verdichtung der Wasserdämpfe nicht durch Berührung mit kalten festen Körpern, sondern durch die ganze Masse der Luft hindurch vor sich geht, so entstehen Nebel, welche im Grossen dasselbe sind wie der Schwaden, den wir über kochendem Wasser sehen.

Die Nebel entstehen häufig, wenn das Wasser der Seen und Flüsse oder der feuchte Boden wärmer sind als die schon mit Feuchtigkeit gesättigte Luft. Die Dämpfe, welche in Folge der höheren Temperatur des Wassers oder des feuchten Bodens gebildet werden, verdichten sich alsbald wieder, wenn sie sich in der kälteren, schon mit Wasserdämpfen gesättigten Luft verbreiten. Bei gleicher Temperaturdifferenz des Wassers und der Luft bilden sich keine Nebel, wenn die Luft trocken ist, so dass sich alle die Wasserdämpfe, welche am Boden aufsteigen, in ihr verbreiten können, ohne sie zu sättigen.

Nach dem, was soeben über die Bildung des Nebels gesagt wurde, erklärt sich leicht, dass sich die Nebel vorzugsweise im Herbste über Flüssen und Seen und über feuchten Wiesen bilden. In England sind die Nebel besonders häufig, weil es von einem warmen Meere umspült ist; ebenso sind die warmen Gewässer des Golfstromes, welcher theilweise bis nach Neufundland hinaufströmt, die Ursache der dort so häufigen dichten Nebel.

Manchmal beobachtet man Nebel unter scheinbar ganz verschiedenen Umständen; so sieht man dichte Nebel über den Flüssen, während die Luft wärmer ist als das Wasser oder das Eis. In diesem Falle ist die warme Luft mit Feuchtigkeit gesättigt, und wenn sie sich mit den Luftschichten mischt, welche durch die Berührung mit dem kalten Wasser oder dem Eise schon eine niedrigere Temperatur erlangt haben, so muss nothwendig eine Condensation des Wasserdampfes erfolgen.

Auf dieselbe Weise entstehen auch im Sommer nach Gewitterregen die Nebel über Flüssen und Seen. Die Luft ist wärmer als die Oberfläche des Wassers, aber sie ist mit Feuchtigkeit gesättigt, und sobald sie sich an Orte verbreitet, an welchen die Frische des Wassers fühlbar ist, wird durch die Erkaltung der Wasserdampf verdichtet.

Der Nebel bildet sich jedoch nicht allein über Flüssen und Seen, sondern auch mitten im Lande, sobald durch Luftströmungen wärmere feuchte Luftmassen mit kälteren gemischt und ihre Temperatur unter den Thaupunkt erniedrigt wird.

Die Wolken sind nichts anderes als Nebel, welche in den höheren Luftregionen schweben, sowie denn Nebel nichts sind als Wolken, welche auf dem Boden aufliegen. Oft sieht man die Gipfel der Berge in Wolken eingehüllt, während die Wanderer auf diesen Bergspitzen sich mitten im Nebel befinden.

Auf den ersten Anblick scheint es unbegreiflich, wie die Wolken in der Luft schweben können, da sie doch aus Bläschen bestehen, welche offenbar schwerer sind als die umgebende Luft. Da das Gewicht dieser kleinen Wasserbläschen im Vergleich zu ihrer Oberfläche sehr gering ist, so muss die Luft ihrem Fall einen bedeutenden Widerstand entgegensetzen, sie können sich also nur sehr langsam herabsenken, wie ja auch eine Seifenblase, welche überhaupt mit unseren Dunstbläschen eine grosse Aehnlichkeit hat, in ruhiger Luft nur langsam fällt. Demnach müssen aber doch die Dunstbläschen, wenn auch noch so langsam, sinken, und man sollte demnach meinen, dass bei ruhigem Wetter die Wolken doch endlich bis auf den Boden herabkommen müssten.

Die bei ruhigem Wetter allerdings herabsinkenden Dunstbläschen können aber den Boden nicht erreichen, weil sie bald in wärmere, nicht mit Dämpfen gesättigte Luftschichten gelangen, in welchen sie sich wieder in Dampf auflösen und dem Blicke verschwinden; während sich aber unten die Dunstbläschen auflösen, werden an der oberen Grenze neue gebildet, und so scheint die Wolke unbeweglich in der Luft zu schweben.

Wir haben eben die Dunstbläschen in ganz ruhiger Luft betrachtet; in bewegter Luft werden sie der Richtung der Luftströmung folgen müssen. Ein Wind, welcher sich in horizontaler Richtung fortbewegt, wird die Wolken auch in horizontaler Richtung fortführen, und ein aufsteigender Luftstrom wird sie mit in die Höhe nehmen, sobald seine Geschwindigkeit grösser ist als die Geschwindigkeit, mit welcher die Dampfbläschen in ruhiger Luft herabfallen würden. Sehen wir ja doch auch, wie die Seifenblasen durch den Wind fortgeführt und über Häuser hinweg getragen werden. So erklärt sich denn auch durch die aufsteigenden Luftströme das Steigen des Nebels.

Das Ansehen der Wolken ist, je nachdem sie höher oder tiefer schweben, je nachdem sie mehr oder weniger dicht, auf diese oder jene Weise beleuchtet sind u. s. w., gar mannigfaltig. Howard hat unter den verschiedenen Wolken folgende Hauptarten unterschieden:

1) Die **Federwolke**, *cirrus*, besteht aus sehr zarten, bald mehr streifigen, bald mehr locken- oder federartigen Fasern, welche nach schönem Wetter zuerst am Himmel erscheinen. In unserer Fig. 376 sieht man sie in der Ecke oben rechts bis herunter, wo die zwei Vögel schweben. Bei trockenem Wetter sind die Federwolken mehr streifig, bei feuchtem mehr verwaschen.

2) Die **Haufenwolke**, *cumulus*, welche in unserer Figur gerade unter der Federwolke gezeichnet ist, bildet grosse halbkugelförmige Massen, welche auf horizontaler Basis zu ruhen scheinen; diese Wolken

Fig. 376.



erscheinen vorzugsweise im Sommer; manchmal thürmen sich Haufenwolken zu malerischen Gruppen zusammen und bieten dann, von der Sonne beschienen, den Anblick ferner Schneegebirge.

3) Die **Schichtwolken**, *stratus*, sind horizontale Wolkenstreifen (in unserer Figur unter den *cumulus*), welche vorzugsweise bei Sonnenuntergang mit ausserordentlicher Farbenpracht erscheinen.

Diese Grundformen gehen auf mannigfaltige Weise in einander über; **Howard** hat diese Uebergangsformen durch die Namen *cirro-cumulus*, *cirro-stratus*, *cumulo-stratus* und *nimbus* bezeichnet.

Die **fedrige Haufenwolke**, *cirro-cumulus*, ist der Uebergang der Federwolke zur Haufenwolke; es sind die kleinen weissen,

runden Wölkchen, welche unter dem Namen Schäfchen allgemein bekannt sind.

Wenn die Federwolken nicht einzeln zerstreut, sondern zu Streifen von bedeutender Ausdehnung verbunden sind, so bilden sie die fedrige Schichtwolke, *cirro-stratus*, welche, wenn sie nahe am Horizonte stehen, den Anblick ausgedehnter Schichten bieten; oft überziehen die *cirro-stratus* den ganzen Himmel mit einem Schleier.

Wenn die Haufenwolken dichter werden, so gehen sie in die streifige Haufenwolke, *cumulo-stratus*, über, welche oft den ganzen Horizont mit einem blauschwarzen Farbentone überziehen und endlich in die eigentliche Regenwolke, *nimbus* (in unserer Figur links), übergehen.

In dem 1890 erschienenen Wolkenatlas von Hildebrandsson, Köppen und Neumayer sind die Wolkenformen folgendermaassen classificirt:

1) *Cirrus*, Federwolke. Federige, zarte, isolirte Wolken, gewöhnlich von weisser Farbe. Manchmal in Banden angeordnet, welche meridianartig einen Theil des Himmelsgewölbes überziehen und nach einem oder zwei entgegengesetzten Punkten des Horizontes perspectivisch convergiren (an der Bildung solcher Banden nehmen oft auch *cirro-stratus* und *cirro-cumulus* theil).

2) *Cirro-stratus*, Schleierwolke. Feiner, weisslicher Schleier, bald ganz diffus, dem Himmel nur ein weissliches Aussehen verleihend (von Manchem als *cirrus*-Dunst bezeichnet), bald mehr oder weniger deutliche Structur von in einander verworrenen Fasern erkennen lassend. Häufig zeigt der Schleier leuchtende Ringe um Sonne und Mond.

3) *Cirro-cumulus*, Schäfchen, Lämmergewölk. Kleine, weisse Bällchen und Flocken, ohne Schatten, welche in Heerden und manchmal in Reihen angeordnet sind.

4) *Alto-cumulus* oder *cumulo-cirrus*, grobe Schäfchen. Grössere weissgraue Bällchen mit schattigen Theilen, in Heerden gruppirt, häufig so dicht, dass ihre Ränder zusammenfliessen. Die einzelnen Bällchen sind in der Regel nach der Mitte zu grösser und derber (in *strato-cumulus* übergehend), nach den Rändern derselben hin feiner flockig (in *cirro-cumulus* übergehend). Sehr häufig sind sie in Reihen nach einer oder zwei Richtungen angeordnet.

5) *Alto-stratus* oder *strato-cirrus*. Dichter Schleier von grauer oder bläulicher Farbe, welcher in der Gegend der Sonne und des Mondes einen helleren Fleck, aber keine Lichtringe darbietet. Diese Form zeigt allmähliche Uebergänge zum *cirro-stratus*, hat aber nach den Messungen in Upsala nur die halbe Höhe.

6) *Strato-cumulus*. Grosse Ballen oder Wülste dunkler Wolken, welche den Himmel häufig, besonders im Winter, ganz bedecken und ihm bisweilen ein gewelltes Aussehen verleihen. Die Schicht der *strato-cumuli* ist gewöhnlich nicht sehr dick, in den Lücken erscheint oft blauer

Himmel. Zwischen dieser Form und den *alto-cumuli* finden sich alle möglichen Zwischenglieder. Vom *nimbus* unterscheiden sie sich durch die geballte oder gerollte Form und die mangelnde Neigung zu Niederschlägen.

7) *Nimbus*, Regenwolke. Dichte Lage von dunkeln, formlosen Wolken mit zerrissenen Rändern, aus welchen gewöhnlich anhaltender Regen oder Schnee fällt. In gelegentlichen Lücken zeigt sich fast stets eine gleichförmige *alto-stratus*-Decke. Zerreisst die Nimbuslage ganz in kleinere Fetzen oder schweben unter dem grossen *nimbus* tiefhängende kleine Wolkenstückchen einher, so können diese als *fracto-nimbus* unterschieden werden.

8) *Cumulus*, Haufenwolke. Dichte, im beständigen Emporwachsen begriffene Wolke, deren Gipfel kuppelförmig und mit Zapfen besetzt, deren Basis dagegen horizontal ist. Bei seitlicher Beleuchtung zeigt diese Wolke kräftige, wirkliche Schatten, auf der Sonnenseite des Himmels erscheint sie dagegen finster mit hellen Säumen. Der echte *cumulus* zeigt oben und unten scharfe Begrenzung. Stets, und besonders bei windigem Wetter, unterliegen jedoch seine Theile fortwährender Auflösung.

9) *Cumulo-nimbus*, Gewitterwolke, Schauerwolke. Mächtige Wolkenmassen, die sich wie Berge aufthürmen, gewöhnlich oben mit Schleier oder Schirm von faseriger Textur („falsche Cirren") und unten mit *nimbus*-ähnlichen Wolkenmassen („Wolkenkragen") umgeben, aus deren Mitte gewöhnlich Schauer von Platzregen oder Hagel (bezw. Graupeln) fallen. Die Ränder sind entweder von festeren *cumulus*-artigen Umrissen und bilden gewaltige *cumulus*-Gipfel von zarten „falschen Cirren" umschwebt, oder die Ränder fliessen selbst in eine zarte, *cirrus*-artige Zerfaserung aus. Die letzte Form ist besonders beim „Aprilwetter" gewöhnlich. Howard hat den regnenden *cumulo-nimbus* und unseren *nimbus* zusammen als *nimbus* bezeichnet, den nichtregnenden *cumulo-nimbus* aber als *cumulo-stratus*. Die Bezeichnung *cumulo-nimbus* ist zuerst von Weilbach angewandt worden.

10) *Stratus*, gehobener Nebel. Condensationen in den untersten Schichten, welche nicht direct bei Regenwetter auftreten und nicht direct dem Boden aufliegen; denn im ersteren Falle sind sie als *nimbus* oder *fracto-nimbus*, im letzteren als Nebel schlechtweg zu bezeichnen.

Die horizontalen gleichmässigen Wolkenlager von geringer Dicke in der Atmosphäre oberhalb 1000 m, welche häufig als *stratus* bezeichnet werden, sind nach der Classification von Abercromby und Hildebrandsson theils mit *alto-stratus*, theils mit *strato-cumulus* zu bezeichnen.

Wenn man bedenkt, wie ausserordentlich mannigfaltig an Gestalt sowohl als auch an Farbe die verschiedenen Wolken sein können, so begreift man wohl, dass es oft schwierig ist, zu entscheiden, ob das Ansehen einer Wolke sich mehr dem einen oder dem anderen Typus nähert.

Unter allen bisher genannten Wolkenarten sind die Federwolken die höchsten, denn auf hohen Bergen bieten sie noch denselben Anblick

wie im Thale, und erreichen nach Ekholm und Hagström die Höhe von etwa 13 km. Es ist höchst wahrscheinlich, dass die *cirri* nicht aus Nebelbläschen, sondern aus Eisnädelchen bestehen.

Die Haufenwolken bilden sich gewöhnlich, wenn durch den aufsteigenden Luftstrom die Wasserdämpfe in die Höhe geführt, und dort, wegen der geringeren Temperatur verdichtet werden. Daher kommt es, dass sich oft gegen Mittag Wolken bilden, während die Sonne am heiteren Himmel aufgegangen ist. Gegen Abend wird der Himmel wieder heiter, weil die Wolken sich wieder senken, wenn der aufsteigende Strom aufhört; in tieferen, wärmeren Regionen angekommen, lösen sich dann die Wolken wieder auf, wenn die Luft nicht mit Dämpfen gesättigt ist. Wenn aber der Südwestwind mehr und mehr Wasserdämpfe herbeiführt, während die Luft schon mit Dämpfen gesättigt ist, so können die sich senkenden Wolken nicht wieder aufgelöst werden, sie werden dichter und dunkler, während oft hoch über den unteren Wolken eine Schicht von Federwolken schwebt. Die unteren Haufenwolken gehen dann mehr und mehr in *strato-cumuli* über, und man hat alsdann Regen zu erwarten.

Wenn durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen die einzelnen Dunstbläschen grösser und schwerer werden, wenn endlich einzelne Bläschen sich nähern und zusammenfliessen, so bilden sich förmliche Wassertropfen, welche nun als Regen herabfallen. In grosser Höhe sind die Regentropfen vermuthlich noch sehr klein, sie werden aber während des Fallens grösser, weil sie wegen ihrer geringeren Temperatur die Wasserdämpfe der Luftschichten verdichten, durch welche sie herabfallen.

Ein besonderes Interesse haben seit dem Jahre 1885 die leuchtenden Nachtwolken erregt, welche in den Sommermonaten Mai bis Juli theilweise am nördlichen Himmel sichtbar waren. Sie unterscheiden sich wesentlich von allen anderen uns bekannten Wolkenarten durch ihre grosse Höhe über dem Erdboden, und die Geschwindigkeit, mit der sie sich in horizontaler Richtung bewegen. Die Beobachtungsmethode, welche zu der Bestimmung ihrer Positionen benutzt ist, beruht auf der Anwendung der Photographie, indem gleichzeitig von verschiedenen, weit unter einander entfernten Standorten photographische Aufnahmen von ihnen nebst den in der Nähe befindlichen Fixsternen ausgeführt werden. Mit der Untersuchung der leuchtenden Nachtwolken hat sich namentlich O. Jesse in Steglitz beschäftigt, der sie regelmässig und in Gemeinschaft mit dem Uhrmacher Bäker in Nauen photographirt. Auch werden solche Photographien in Rathenow, der Urania-Sternwarte in Berlin und Moskau ausgeführt.

Die Ausmessungen der gewonnenen Bilder haben nun Herrn O. Jesse zu dem überraschenden Resultate geführt, dass die leuchtenden Wolken sich durchschnittlich in einer Höhe von 83 km über der Erdoberfläche befinden, während bei den *cirrus*-Wolken bisher noch keine grössere Höhe als 13 km nachgewiesen worden ist. Die Geschwindigkeit, mit der sie sich

horizontal fortbewegen, übertrifft die der stärksten Orkane um mehr als das Doppelte; sie beträgt etwa 100 m in der Secunde, ist der Hauptsache nach immer von Osten nach Westen gerichtet, mit einer kleinen nach Süden gerichteten Componente.

Während kein Zweifel darüber ist, dass die Erleuchtung dieser Wolken durch die Sonne geschieht, welche sich in gemässigten Breiten während der Sommermonate verhältnissmässig wenig tief unter dem Horizonte befindet, so besteht doch die Eigenthümlichkeit, dass nicht etwa um Mitternacht, also während der grössten Dunkelheit, ihre Leuchtkraft die intensivste ist, sondern während der frühen Morgenstunden. Es liegt hier der Gedanke nahe, dass dieser Erscheinung eine ähnliche Ursache zu Grunde liegt, wie dem stärkeren Auftreten der Meteoriten in den Morgenstunden, von welchen früher (§. 100) die Rede war, dass also die Stoffe, welche die leuchtenden Wolken bilden, ähnlich wie die Sternschnuppen, kosmischer Natur seien. Vor dem Auftreten der leuchtenden Nachtwolken, d. h. vom August 1883 bis etwa zum Jahre 1885, erregte ein anderes eigenthümliches Phänomen die allgemeinste Aufmerksamkeit, nämlich sehr lebhafte rothe Dämmerungserscheinungen. Man hat diese mit den leuchtenden Nachtwolken, sowie beide mit dem Krakatoa-Ausbruche des Jahres 1883 in Verbindung bringen wollen, bei welchem feine Staub- und Gastheile in enorme Höhen der Atmosphäre geschleudert worden seien, doch lassen sich hiergegen manche Einwendungen erheben, die nicht völlig haben widerlegt werden können. Jedenfalls bilden die leuchtenden Wolken ein höchst interessantes Phänomen, welches die genaueste Untersuchung verdient. Es sei noch kurz bemerkt, dass ähnliche Erscheinungen während der letzten Jahre auch auf der südlichen Halbkugel während der Sommermonate beobachtet sind.

Regenmenge. Die Menge des Regens, welcher an irgend einem 253
Orte der Erde im Laufe eines Jahres fällt, ist für die Meteorologie ein höchst wichtiges Element. Die Instrumente, deren man sich zu diesem Zwecke bedient, werden Regenmesser, Ombrometer, Udometer oder auch Hyetometer genannt. Fig. 377 (a. f. S.) stellt einen Regenmesser dar, wie dieselben auf den deutschen meteorologischen Stationen in Anwendung sind. Der Regen fällt in ein Blechgefäss A, dessen obere freie Oeffnung einen Flächeninhalt von 500 qcm hat. Aus A fällt das Wasser durch eine Oeffnung von 1 cm Durchmesser in das Reservoir B, auf welches das Gefäss A so aufgesetzt ist, dass es leicht abgenommen werden kann. Das in B gesammelte Wasser wird jeden Tag um acht Uhr Morgens durch den Hahn h abgelassen und in einem graduirten Glascylinder (Fig. 378) aufgefangen, der so getheilt ist, dass das Wasser, welches den Zwischenraum zwischen zwei auf einander folgenden Theilstrichen ausfüllt, auf einer Fläche von 500 qcm ausgebreitet, dieselbe mit einer $^1/_{10}$ mm hohen Wasserschicht bedecken würde. Wenn also die in einer bestimmten Zeit gefallene Regenmenge den Cylinder bis zum $n$ten

Theilstrich (von unten an gezählt) füllt, so ist in dieser Zeit so viel Regen gefallen, dass er den Boden bis zu einer Höhe von $\frac{n}{10}$ mm mit Wasser bedeckt haben würde, wenn kein Wasser in den Boden eingedrungen, oder abgeflossen oder verdunstet wäre.

Die Tabelle auf nebenstehender Seite giebt die Regenhöhe einer Reihe von Orten für die verschiedenen Monate in Procenten und für das ganze Jahr in Centimetern.

Aus der Betrachtung solcher Tabellen, die in grosser Vollständigkeit in dem schon erwähnten Werke von Woeikof „Die Klimate der Erde“ gegeben sind, ergiebt sich, dass sich Europa in Beziehung auf die Vertheilung des Regens in drei Provinzen theilen lässt.

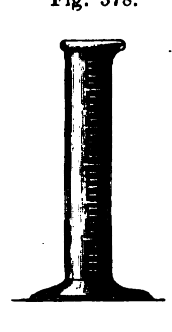
In England, Frankreich und Norwegen sind die Herbstregen vorherrschend.

In Deutschland, den westrheinischen Gegenden, Dänemark und Schweden herrschen die Sommerregen vor.

Fig. 377.



Fig. 378.



Die Sommerregen treten im südöstlichen Frankreich, Italien, dem südlichen Portugal, überhaupt in dem Theile Europas, welcher Afrika zunächst liegt, bedeutend zurück.

Im Allgemeinen nimmt die Regenmenge mit der Entfernung vom Meere ab; bezeichnen wir die jährliche Regenmenge in Petersburg mit 1, so ist die jährliche Regenmenge

in den Ebenen von Deutschland	1,2
im Inneren von England	1,4
an den Küsten von England	2,1

Die Regenmenge nimmt mit der Höhe der Orte über der Meeresfläche zu, weil die Berge einen Niederschlag veranlassen, wenn sie von einem Strome feuchter Luft getroffen werden; daher die bedeutende Regenmenge in den Alpen.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	October	November	December	Jahr
Gibraltar	16	11	11	8	6	2	0	1	4	10	16	14	76
Madrid	10	8	9	7	13	8	1	4	10	12	11	8	38
Palermo	13	9	12	8	4	2	1	1	7	14	14	15	60
Rom	11	9	9	7	6	4	2	4	8	14	14	12	77
Bologna	5	7	7	8	10	9	6	6	11	12	11	8	63
Marseille	10	8	7	7	9	4	2	4	12	16	13	7	51
Paris	8	7	7	8	8	9	9	9	9	9	9	8	58
London	9	6	7	8	7	8	9	9	10	12	9	8	61
Manchester	11	8	7	6	6	8	7	9	9	11	9	10	91
Portree	12	9	7	6	5	7	7	9	8	10	9	12	260
Dublin	11	7	8	7	7	8	7	9	8	10	9	10	74
Hamburg	7	6	7	6	7	10	10	11	10	8	8	8	69
Berlin	6	5	6	6	8	10	12	13	10	8	8	7	59
Königsberg	6	5	5	5	8	9	11	13	13	10	9	7	63
Harz	7	8	8	7	8	11	12	10	8	8	8	9	106
Dresden	6	6	7	7	9	6	12	11	7	8	8	8	54
München	6	5	6	8	10	11	14	13	8	8	5	5	80
Genf	6	6	6	7	9	9	9	11	9	2	9	7	80
Innsbruck	5	4	7	8	9	12	13	12	9	7	7	7	87
Simferopol	6	5	7	7	8	13	13	8	8	6	8	10	44
Kiew	5	5	6	8	9	11	15	10	9	8	6	7	51
Tiflis	3	4	6	10	15	14	11	8	11	7	5	3	49
Moskau	5	4	5	7	10	10	10	13	10	7	7	5	55
Petersburg	5	5	5	5	9	9	14	14	10	9	8	7	47
Nordschweden	6	4	5	6	7	9	11	13	10	12	10	7	41
Florö (Norwegen)	9	8	6	7	5	5	8	9	11	11	10	10	187
Barnaul	3	2	3	4	11	14	17	18	9	8	7	5	24
Jenisseisk	5	4	3	4	7	14	15	16	11	8	6	6	35
Tokio	3	4	8	8	8	13	9	9	16	12	6	4	186
Peking	0	0	1	2	6	13	36	26	11	3	1	0	64
Shanghai	4	6	8	9	10	17	10	11	13	6	4	2	111
Hongkong	1	2	3	6	14	18	14	14	16	7	4	1	214
Calcutta	1	1	2	3	8	18	20	22	16	8	1	0	166
Bombay	0	0	0	0	1	28	33	21	14	2	1	0	192
Mahabaleshwar	0	0	0	0	1	18	38	28	12	2	0	0	657
Tscherrapunshi	0	0	2	6	10	24	27	16	11	3	0	0	1252
Sydney	8	10	9	13	10	10	9	6	5	7	6	6	129
Sitka	9	8	6	6	5	4	5	9	12	14	11	9	207
S. Francisco	20	14	16	8	4	0	0	0	1	2	11	24	55
New-York	8	7	8	8	9	8	9	10	8	8	9	9	120
Halifax	10	8	9	7	7	7	8	8	8	10	10	8	149
St. Mexico	1	1	1	2	4	8	16	17	22	17	9	3	58
Trinidad	4	2	2	3	8	11	13	16	11	11	10	9	172
Para	9	15	16	17	14	8	5	4	3	1	4	3	179
Rio Janeiro	11	11	10	12	7	10	3	3	6	7	8	12	121
Buenos Ayres	7	9	11	8	10	8	5	5	7	11	7	11	86
Cordoba	20	24	11	3	2	2	1	5	3	9	9	12	69
Santiago	0	1	1	3	13	24	25	15	12	4	2	1	33
Maghellanstrasse	7	8	8	9	7	14	13	7	6	8	7	7	54
Capstadt	3	3	3	7	15	19	14	13	10	6	4	2	63
Sansibar	3	3	7	19	24	7	6	15	4	8	7	7	250

An einem und demselben Orte nimmt nach manchen Beobachtungen die Regenmenge mit der Höhe über dem Boden ab; so fallen z. B. im Hofe des Observatoriums zu Paris im Laufe eines Jahres 57 cm, auf der 28 m höher liegenden Terrasse nur 50 cm Regen. Doch sind solche Beobachtungen gewöhnlich sehr unsicher, weil in der Höhe die Windstärke im Durchschnitt zunimmt, und bei starkem Winde leicht ein Theil der Regenmenge weggeweht wird, welcher bei ruhigerer Luft in den Regenmesser hineinfallen würde. Dass die Regentropfen während ihres Fallens an Grösse häufig zunehmen, ist eine sicher beobachtete Thatsache, doch scheint dabei der gegenseitige Abstand der Tropfen sich zu vergrössern, so dass man wohl annehmen kann, dass zum Theil kleinere Tropfen verdunsten, und sich dafür Feuchtigkeit an den grösseren niederschlägt.

Die Anzahl der Regentage während eines Jahres nimmt in Europa im Allgemeinen von Süden nach Norden zu. Im Durchschnitt kommen auf das Jahr

im südlichen Europa	 120	Regentage
im mittleren „	 146	„
im nördlichen „	 180	„

Dass die Regenmenge nicht allein von der Zahl der Regentage abhängen kann, ist klar; denn es kommt ja nicht allein darauf an, an wie vielen Tagen es regnet, sondern auch, wie viel es regnet. Wenn in den nördlicheren Gegenden die Zahl der Regentage zunimmt, so nimmt dagegen die Intensität des Regens im Allgemeinen ab, und so erklärt es sich z. B., dass in Petersburg die Zahl der Regentage zwar grösser, die Regenmenge aber geringer ist als in Rom.

Mit der Entfernung vom Meere nimmt sowohl die Regenmenge als auch die Zahl der Regentage ab; so kommen z. B. im Durchschnitt

in Petersburg	168
in Kasan	90
in Jakutzk	60

Regentage auf das ganze Jahr.

So wie unter sonst gleichen Umständen der Regen in wärmeren Gegenden intensiver ist als in kälteren, so ist er auch in der warmen Jahreszeit intensiver als in der kalten. Im Durchschnitt kommen in Deutschland auf den Winter 38, auf den Sommer 42 Regentage; die Zahl der Regentage ist also im Sommer kaum etwas bedeutender als im Winter, und doch ist die Regenmenge im Sommer ungefähr doppelt so gross als im Winter. In den Sommermonaten fällt oft bei einem einzigen Gewitter mehr Regen, als sonst in mehreren Wochen.

Von der aus einer langen Reihe von Beobachtungsjahren abgeleiteten mittleren jährlichen Regenmenge eines Ortes weicht die Regenmenge einzelner Jahre in weit auffallenderem Verhältniss ab, als die Mitteltempe-

ratur eines bestimmten Jahres von dem allgemeinen Jahresmittel der Temperatur. Als Mittel aus 30 Jahren (1837 bis 1867) beträgt die jährliche Regenmenge zu Frankfurt a. M. 25,9 Pariser Zoll. Im Jahre 1864 betrug die gesammte Regenmenge nur 13,5″, im Jahre 1867 dagegen betrug sie 53,2″. Die Regenmenge des Juli 1867 betrug zu Frankfurt a. M. allein 8,9″, im Juli 1863 hingegen nur 0,7″.

Sehr ungleich ist auch oft die gleichzeitige Regenmenge verschiedener nicht weit von einander entfernter Orte, wie man aus Fig. 3 der Tab. 21 ersieht, in welcher dem 5ten Jahrgang der Schweizerischen Meteorologischen Beobachtungen zufolge die Regenmenge der einzelnen Tage vom 10. September bis zum 11. October 1868 für den Bernhardin, den Gotthard und Altdorf zusammengestellt sind. Die Regenhöhen sind in dieser Figur nur in $^1/_{10}$ der wirklichen Grösse aufgetragen, 1 mm also für 1 cm Regenhöhe.

Für den 28. September betrug die Regenhöhe für Altdorf 20 mm, für den Gotthard 34 mm, für den Bernhardin aber 250 mm oder ungefähr 9,1 Pariser Zoll. Zu Frankfurt a. M. betrug die gesammte Regenmenge des ganzen September 1868 nur 1,6 Pariser Zoll. Die enormen Regenmassen, welche in der letzten Hälfte des Septembers 1868 auf dem Kamme der Alpen fielen, veranlassten furchtbare Ueberschwemmungen.

Regen zwischen den Wendekreisen. Da, wo die Passatwinde mit grosser Regelmässigkeit wehen, ist der Himmel meistens heiter, und es regnet selten, namentlich wenn die Sonne auf der anderen Hemisphäre steht. Auf den Continenten aber wird die Regelmässigkeit des Passats gestört durch die Intensität des aufsteigenden Luftstromes, sobald sich die Sonne dem Zenith nähert; um diese Zeit stellt sich auch ein mehrere Monate andauerndes heftiges Regenwetter ein, während die andere Hälfte des Jahres hindurch der Himmel heiter und die Luft trocken ist. 254

Humboldt hat uns die Erscheinungen der nassen Jahreszeit im nördlichen Theile von Südamerika beschrieben. Vom December bis zum Februar ist die Luft trocken und der Himmel heiter. Im März wird die Luft feuchter, der Himmel weniger rein, der Passatwind weht weniger stark, und oft ist die Luft ganz ruhig. Mit Ende März beginnen die Gewitter; sie bilden sich des Nachmittags, wenn die Hitze am grössten ist, und sind von heftigen Regengüssen begleitet. Gegen Ende April fängt eigentlich die nasse Jahreszeit an; der Himmel überzieht sich mit einem gleichförmigen Grau, und es regnet täglich von 9 Uhr Morgens bis 4 Uhr Nachmittags; des Nachts ist der Himmel meistens rein. Der Regen wird am heftigsten, wenn die Sonne im Zenith steht. Allmählich wird die Zeit des Tages, in welcher es regnet, immer kürzer, und gegen Ende der Regenzeit regnet es nur Nachmittags.

Die Dauer der Regenzeit ist in verschiedenen Gegenden nicht dieselbe; sie beträgt drei bis fünf Monate.

In Ostindien, wo die Regelmässigkeit der Passatwinde durch örtliche Verhältnisse gestört ist und wo statt ihrer die Moussons wehen, finden wir ebenfalls regelmässige Regenverhältnisse; an der steilen Westküste von Vorderindien fällt die Regenzeit mit der Zeit unseres Sommers zusammen, sie fällt nämlich in die Zeit, zu welcher die Südwestmoussons wehen und, mit Feuchtigkeit beladen, an die hohen Gebirge anstossen. Während es auf der Küste Malabar regnet, ist auf der Ostküste Coromandel der Himmel heiter; hier stellt sich die Regenzeit mit dem Nordostpassat, also gerade zu der Zeit ein, in welcher auf der Westküste die trockene Jahreszeit herrscht.

In der Region der Calmen findet man diese periodischen Regen nicht, es finden hier fast täglich heftige Regengüsse statt. Der aufsteigende Luftstrom führt eine Menge von Wasserdämpfen in die Höhe, welche sich in den kälteren Regionen wieder verdichten. Die Sonne geht fast immer bei heiterem Himmel auf, gegen Mittag aber bilden sich einzelne Wolken, welche dichter und dichter werden, bis ihnen endlich, meist unter heftigen Windstössen und elektrischen Entladungen, eine ungeheure Regenmenge entströmt. Gegen Abend zerstreut sich das Gewölk und die Sonne geht wieder bei heiterem Himmel unter.

Die jährliche Regenmenge ist im Allgemeinen in den Tropen sehr gross, sie beträgt z. B. in Bombay 192, in Kandy 126, auf Borneo 301, zu Rio Janeiro 121, auf St. Domingo 155, zu Havana 118 und in Colon 289 cm.

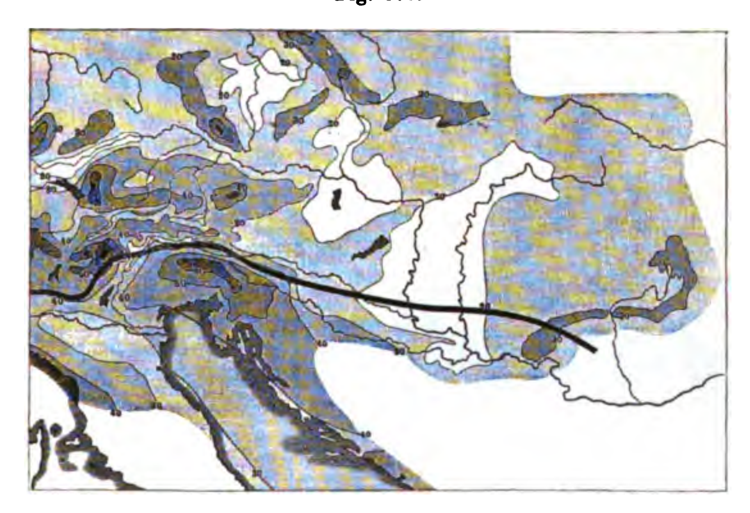
In Tscherrapunshi fielen am 14. Juni 1876, also an einem Tage, 104 cm Regen, ein Betrag, der an den meisten Orten Europas nicht einmal in einem Jahre erreicht wird. Bedenkt man nun, dass der Regen meist nur auf wenige Monate vertheilt ist und dass es nur an wenigen Stunden des Tages regnet, so ist klar, dass der Regen sehr stark sein muss. Die Regentropfen sind dann sehr gross und fallen mit solcher Geschwindigkeit nieder, dass sie auf der nackten Haut ein schmerzhaftes Gefühl erzeugen.

Die Karte Tab. XLVIII soll dazu dienen, ein Bild der Vertheilung des Regens auf der Erdoberfläche zu geben und zwar ist die Schattirung um so dunkler, je grösser die Regenmenge eines Ortes ist. Man übersieht z. B. aus dieser Karte, dass in der Region der Calmen die Regenmenge theilweise sehr bedeutend ist, dass es auf den Inseln und an den meisten Küsten der grösseren Continente mehr regnet als in den Binnenländern u. s. w.

255 **Hyetographische Karten** sind solche, welche die Regenverhältnisse eines Landes anschaulich machen. In diesem Sinne ist Tabelle XLVIII des Atlas eine hyetographische Erdkarte. Dass eine solche die Regenverhältnisse der Erde nur im Grossen und Ganzen darstellt, dass man aus ihr nicht die speciellen Regenverhältnisse einzelner Länder entnehmen kann, versteht sich von selbst; zu diesem Zwecke

muss man Specialkarten der fraglichen Länder von um so grösserem Maassstabe zur Hand nehmen, je mehr man in die Details der Regenvertheilung einzugehen beabsichtigt. In der That sind bereits hyetographische Karten verschiedener Länder ausgeführt worden, von denen wir als Beispiel v. Sonklar's Regenkarte der österreichischen Monarchie (im 4. Bande der Mittheilungen der königl. kaiserl. geograph. Gesellschaft) anführen wollen. Fig. 379 ist eine verkleinerte Copie dieser interessanten Karte, welche sehr deutlich die Beziehungen zwischen Boden-

Fig. 379.



gestalt und Niederschlag versinnlicht. Unser Kärtchen zeigt den Verlauf der Isohyeten, d. h. der Linien gleicher jährlicher Regenmenge von 10 zu 10 Pariser Zoll. Die Curve von 20 Pariser Zoll jährlicher Regenmenge schliesst die in der Karte weissgelassenen Gegenden ein, deren jährliche Regenmenge im Durchschnitt unter 20 Zoll beträgt. Die in sich zurücklaufenden Curven von 40″ schliessen die Räume ein, deren mittlere jährliche Regenmenge über 40″ beträgt. Innerhalb der Curven von 40″ liegen die Curven von 50″, 60″ u. s. w. Die grösste Regenmenge des auf unserem Kärtchen dargestellten Gebietes hat Santa Maria am Stilfser Joch; sie beträgt 92 Pariser Zoll.

Nördlich von der starken dunkeln Linie sind die Sommerregen vorherrschend.

Die Verdunstung. Zu den wichtigsten meteorologischen Daten 256
gehört neben der Regenmenge ohne Zweifel die bis jetzt noch verhältnissmässig wenig berücksichtigte und beobachtete Verdunstung, durch welche von einer freien Wasserfläche sowohl, wie von einem feuchten, nackten oder mit Pflanzen bedeckten Boden eine nach Umständen grössere oder kleinere Quantität Wasser als Dampf in die Atmosphäre übergeht.

Die Vorrichtungen, welche man construirt hat, um die Grösse der Verdunstung zu messen, hat man Atmometer oder Evaporimeter genannt. Ursprünglich bestanden sie einfach aus oben offenen runden oder quadratischen Gefässen, welche an einem vor Regen geschützten, sonst aber den atmosphärischen Einflüssen möglichst ausgesetzten Orten aufgestellt, nahe bis zum Rande gefüllt wurden. Die Grösse der Verdunstung ermittelte man entweder durch Wägung oder durch Messung der Erniedrigung, welche der Wasserspiegel in Folge der Verdampfung erleidet. In neuerer Zeit hat man vielfach verbesserte Atmometer construirt, welche aber auch zum Theil ziemlich complicirt sind. Eine der zweckmässigsten Formen des Atmometers dürfte wohl das in Fig. 380 dargestellte Prestel'sche sein (Jelinek, Zeitschrift für Meteorologie I.). An einem Blechgefäss A von quadratischem Querschnitt ist auf der einen Seite eine Nebenkammer angebracht und in diese eine graduirte Glasröhre B eingesetzt, in welche unten bei c eine seitliche Oeffnung eingebohrt ist, welche sich dicht unter dem Wasserspiegel im Gefäss A befindet, so dass, wenn das Niveau in A etwas gesunken ist, eine Luftblase durch c in die Glasröhre B eintreten und dagegen eine solche Menge Wasser austreten kann, dass der Wasserspiegel in A bis auf ganz kleine Schwankungen unverändert erhalten wird. Die Quantität des in einer bestimmten Zeit von der Oberfläche in A verdunsteten Wassers lässt sich mit grosser Genauigkeit an der Theilung des Rohres B ablesen.

Fig. 380.

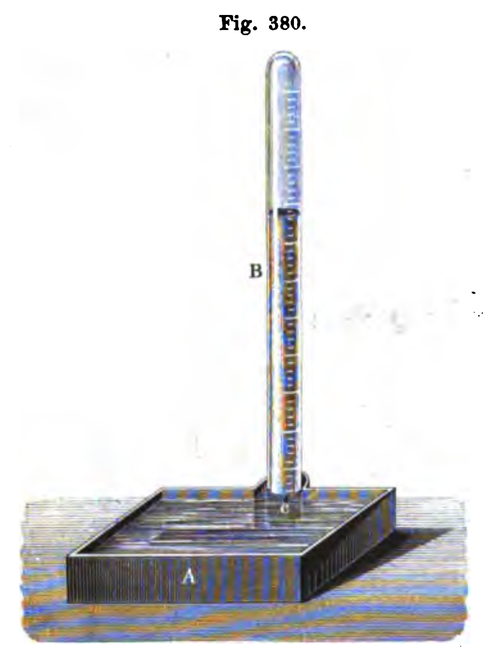
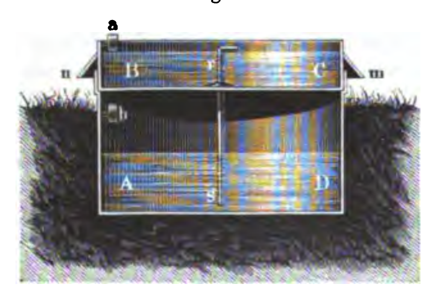


Fig. 381.



Dufour hat ein Instrument construirt, welches er Siccimeter nennt

(Bull. de la Soc. vaudoise des sciences naturelles, tom. X, 1869) und dessen Zweck der ist, die Differenz zwischen Regenmenge und Verdunstung anzugeben. Fig. 381 stellt das Siccimeter im Durchschnitt dar. Das aus Zinkblech gefertigte Gefäss AD, welches zum Theil in den Boden eingegraben ist, hat einen Durchmesser von 50 und eine Höhe von 25 cm. Oben ist in dasselbe das Gefäss BC eingesetzt, welches bei gleichem Durchmesser nur 8 cm hoch ist und welches gewissermaassen einen Deckel für AD bildet. Das Gefäss BC ist von einem conischen, gleichsam ein Dach bildenden Ringe nm umgeben, welcher verhindert, dass das Wasser längs dem äusseren Umfange von BC in das untere Gefäss eindringen kann. In der Mitte des Bodens von BC ist eine $1^1/_2$ cm weite Röhre rs eingelöthet, welche, wie die Figur zeigt, an ihrem oberen Ende horizontal umgebogen ist und unten nahe am Boden von AD mündet.

Um den Apparat in Gang zu setzen, wird er bis zur oberen Mündung des Rohres rs mit Wasser gefüllt und dann sich selbst überlassen. Durch Verdampfung wird sich der Wasserspiegel im oberen Gefäss senken, während er in Folge von Regen steigt. Wenn innerhalb einer gegebenen Periode die Regenmenge grösser ist als die Verdunstungsmenge, so wird dieser Ueberschuss des gefallenen Wassers durch das Rohr rs in das untere Gefäss AD abfliessen. Nach zwei, drei, vier Tagen wird das Niveau des Wassers in BC, und alsdann, nachdem man das Gefäss BC abgehoben hat, der Stand des Wassers in AD gemessen.

Die Messung des Wasserstandes in AD und BC wird mit Hülfe einer Millimeterscala ausgeführt, welche innerhalb der an der Wand des oberen und des unteren Gefässes befestigten Hülsen a und b auf- und abgehoben werden kann. Die Maassstäbchen werden in ihrer Hülse so weit herabgeschoben, dass ihr unteres, in eine feine Spitze auslaufendes Ende gerade den entsprechenden Wasserspiegel berührt. Zieht man von der Höhe R, um welche der Wasserspiegel im unteren Gefässe während mehrerer auf einander folgender Tage in Folge von Regen gestiegen ist, die Höhe V ab, um welche der Wasserspiegel des oberen Gefässes in Folge der während derselben Zeit stattgefundenen Verdunstung gefallen ist, so erhält man den Ueberschuss der Regenhöhe über die Verdunstungshöhe. Die Differenz $R - V$ wird negativ, wenn während der fraglichen Periode die Verdunstungsmenge grösser ist als die Regenmenge. Wir werden später noch auf die von Dufour mit dem Siccimeter zu Lausanne erhaltenen Resultate zurückkommen.

Den wahren Betrag der Wasserverdunstung für eine Gegend zu ermitteln, ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Er ist nämlich abhängig von der Boden-Gestaltung und -Beschaffenheit, von dem Betrage und der Art der Vegetation und manchen anderen Verhältnissen, woraus folgt, dass die Grösse der Verdunstung häufig für zwei Orte, welche nahe bei einander liegen, erheblich verschieden ist. Einige beiläufige Angaben über die Grösse der jährlichen Verdunstung in Centimetern sind folgende:

Jährliche Verdunstung nach Centimetern.

Cumana	352	Cardillau	85
Marseille	230	Sens	81
Madras	232	Paris	80
St. Helena	213	La Rochelle	71
Madeira	203	Würzburg	69
Rom	198	Holland	60 bis 80
Nagpur	186	Dijon	67
Mannheim	186	London	65
Augsburg	163	Tübingen	65
Bordeaux	160	Breda	63
Montrijau	123	Rotterdam	62
Sydney	120	Auxerre	56
Manchester	112	Bar-le-Duc	53
Azoren	100	Breslau	40
Engl. Küsten	90	Tegernsee	40

Die Verdunstung vertheilt sich sehr ungleich auf die verschiedenen Monate des Jahres. Nach Schübler's dreijährigen Beobachtungen beträgt die tägliche Verdunstung im Schatten zu Tübingen durchschnittlich im

Januar	0,18 Par. Linien	Juli	1,67 Par. Linien
Februar	0,24 „ „	August	1,33 „ „
März	0,67 „ „	September	0,98 „ „
April	0,97 „ „	October	0,54 „ „
Mai	1,16 „ „	November	0,23 „ „
Juni	1,35 „ „	December	0,19 „ „

Dass die Luftbewegung auf die Verdunstung von bedeutendem Einflusse ist, versteht sich von selbst.

Ist das Erdreich durch Regen völlig durchnässt, so verdunstet von ihm während der ersten Stunden nach dem Regen oft mehr Wasser, als von einer freien Wasserfläche, während in den späteren Stunden die Verdunstung rasch abnimmt.

Einen sehr wesentlichen Einfluss übt die Vegetation auf die Verdunstung aus. Schübler fand z. B., dass von einer mit Poa annua dicht bewachsenen Grasfläche während der kräftigsten Vegetationsperiode doppelt, ja dreimal so viel Wasser verdampfte, als von einem danebenstehenden Wasserspiegel. Mit eintretender Reife vermindert sich die Verdunstung.

Sehr instructiv sind die leicht graphisch darstellbaren Resultate, welche Dufour mit Hülfe des Siccimeters erhalten hat. Fig. 1 auf Tab. 21 stellt die im Jahre 1866, Fig. 2 stellt die im Jahre 1868 erhaltenen Resultate dar. Ein Aufsteigen der Curve bedeutet einen Ueber-

schuss der Regenmenge, ein Absteigen dagegen einen Ueberschuss der Verdunstung. So sehen wir z. B., dass schon für die ersten Tage des December 1865 der Ueberschuss der Regenmenge 4 mm, dass er bis zum ersten Drittel des Januar 1866 bereits 8 mm betrug. Bis zu Anfang des Juni 1866 betrug der Ueberschuss der Regenmenge bereits 44 mm, im Laufe des Juni 1866 aber betrug der Ueberschuss der Verdampfung 4 mm.

Zu Lausanne betrug der Ueberschuss der Regenmenge für das meteorologische Jahr

1865	85 mm	
1866	690	Fig. 1 Tab. 22
1867	430	
1868	— 278	Fig. 2 Tab. 22

Im meteorologischen Jahre 1868 (von Anfang December 1867 bis zu Ende November 1868) war also die Verdunstung überwiegend, in den drei vorhergehenden Jahren dagegen die Regenmenge. Im Laufe von vier Jahren betrug also der Ueberschuss der Regenmenge über die Verdampfung 927 mm oder 491 Pariser Linien.

Gegen diese an den Ufern des Genfer Sees stattfindenden Verdunstungsverhältnisse bilden die von Schenzl zu Ofen beobachteten einen auffallenden Gegensatz. In einer dreijährigen Periode (Anfang Juni 1863 bis Ende Mai 1866) betrug die zu Ofen beobachtete Gesammtverdunstung 2187 Pariser Linien, die gesammte Regenmenge dieser Periode aber nur 567‴, also ein Verdunstungsüberschuss von 1620 Pariser Linien oder 365 cm, eine Erscheinung, welche durch die grosse Trockenheit bedingt ist, welche in einem grossen Theile von Ungarn herrscht.

Der Schnee. Die Wolken, aus welchen Schneeflocken herabfallen, bestehen nicht aus Dunstbläschen, sondern aus feinen Eiskryställchen, welche durch fortwährende Condensation von Wasserdämpfen während ihres Herabfallens wachsen und durch Aneinanderhängen einzelner Schneekryställchen die Schneeflocken bilden. Sind die unteren Luftschichten zu warm, so schmelzen die Schneeflocken, ehe sie den Boden erreichen, es regnet unten, während es oben schneit. 257

Wenn bei ruhiger Luft nur spärliche Schneeflöckchen fallen, so zeigen sie überraschend schöne und regelmässige Kryställchen, welche man am besten beobachten kann, wenn man sie auf einem dunkeln unter 0° erkalteten Körper auffängt. Schon Kepler hat auf diese Schneesternchen aufmerksam gemacht. — Scoresby, welcher auf seinen Polarexpeditionen reichlich Gelegenheit hatte, Schneeflocken zu beobachten, giebt in seiner „Reise auf den Walfischfang“ die Abbildung von 100 verschiedenen Schneefiguren, welche bei aller Mannigfaltigkeit doch demselben Krystallsysteme angehören, nämlich dem drei- und einaxigen,

dessen bekannteste Repräsentanten Bergkrystall und Kalkspath sind, und welches vorzugsweise durch reguläre sechsseitige Gestalten und deren Ableitungen charakterisirt ist.

Auch das Eis, wie es sich auf der Oberfläche ruhiger Gewässer bildet, hat eine diesem Krystallsysteme entsprechende Structur, wie sich dies durch die optischen Eigenschaften desselben nachweisen lässt, obgleich sich an demselben äusserlich keine Krystallflächen auffinden lassen.

Fig. 382.



Fig. 383.



Fig. 384.



Fig. 382, 383 und 384 zeigen einige Schneefiguren, welche man bisweilen zu beobachten Gelegenheit hat. — Bei genauerer Betrachtung findet man bald, dass die Bestandtheile, aus welchen sich die Schneesternchen zusammensetzen, theils feine Eisnädelchen, theils durchsichtige ganz dünne Eisblättchen sind, welche meist die Gestalt eines regulären Sechsecks haben. Auf diese durchsichtigen Eisblättchen erscheinen dann häufig gleichsam Verstärkungsrippen aufgesetzt, welche nicht wenig zur

Verschönerung dieser zierlichen Gestalten beitragen, und welche in dem centralen Theile bald ein regelmässiges Sechseck, bald einen sechsseitigen Stern bilden, wie man dies in Fig. 384 sieht.

Die Eisnadeln und die aus solchen gebildeten Combinationen, wie man sie in Fig. 382 sieht, beobachtet man in der Regel, wenn die Temperatur der Luft während des Schneefalls nur wenig unter den Gefrierpunkt gesunken ist; bei niedrigeren Temperaturen werden die Eisblättchen und die aus ihnen gebildeten Combinationen, wie Fig. 384, häufiger. — Unter einer Temperatur von 12° findet wohl kaum mehr ein Schneefall statt.

Die bisher betrachteten Schneesternchen, Fig. 382 und Fig. 384, sind durchaus flächenhafte Gebilde, da sie senkrecht zur Ebene des Sternes nur sehr dünn sind. Körperhaftere Gestalten treten auf, wenn mehrere solcher Schneesternchen den Gesetzen der Zwillingsbildung entsprechend sich so verbinden, dass ihre Ebenen unter Winkeln von 60° sich schneiden, oder auch wenn zwei parallele Schneeblättchen durch eine auf ihrer Ebene senkrechte Säule oder Nadel verbunden sind. Gestalten dieser Art sind die beiden unteren in Fig. 383. Bei der ersten dieser Figuren sind zwei sechsseitige Eistäfelchen durch eine sechsseitige Säule verbunden; diese Form gehört jedenfalls zu den äusserst selten vorkommenden. Die unterste Combination der Fig. 383, bei welcher ein grösserer Schneestern mit einem kleineren Eistäfelchen durch eine Eisnadel verbunden ist, kommt anscheinend häufiger vor; die oberste dieser drei Gestalten, die sechsseitige Pyramide, welche an die gewöhnliche Form des Bergkrystalls erinnert, wurde von Scoresby beobachtet; diese Form ist aber gleichfalls eine höchst seltene.

Bei stürmischem Schneefall, wenn die Schneeflocken dicht fallen und in der Luft durcheinander wirbeln, lassen sich die oben besprochenen zierlichen Figuren nicht mehr beobachten; die unter solchen Umständen fallenden Schneeflocken bestehen aus unregelmässig zusammenhängenden Eisnädelchen.

Die Oberfläche des Schnees zeigt eine rein weisse Farbe; wo aber der reine Schnee zu etwas grossen Massen angehäuft ist, zeigt sich in Höhlungen und Spalten desselben eine schöne blaugrüne Färbung, welche namentlich deutlich hervortritt, wenn der Schnee durch theilweise Schmelzung etwas mit Wasser durchtränkt ist. Es ist dies dieselbe schöne Färbung, welche man in den Spalten und Höhlen des Gletschereises bewundert.

Die Niederschläge der stürmisch bewegten Uebergangszeit vom Winter in den Frühling oder auch vom Herbst zum Winter erscheinen oft in Form von Graupeln, d. h. in Form körnig zusammengeballter Eisnädelchen.

Der Hagel unterscheidet sich von den Graupelkörnern dadurch, 258
dass er nicht aus geballten Eisnädelchen, sondern aus dichtem, meist durchsichtigem Eise besteht.

Die gewöhnliche Grösse der Hagelkörner ist die einer Haselnuss; sehr häufig fallen kleinere, sie werden aber als weniger gefährlich nicht sonderlich beachtet; oft sind sie aber auch noch weit grösser und wirken verheerend auf die getroffenen Landstriche.

Halley erzählt, dass am 9. April 1697 Hagelkörner fielen, welche 10 Loth wogen; Robert Taylor hat am 4. Mai 1697 Hagelkörner gemessen, deren Durchmesser 4 Zoll betrug. Montignot sammelte den 11. Juli 1753 zu Toul Hagelkörner, welche 3 Zoll Durchmesser hatten. Volta versichert, dass man unter den Hagelkörnern, welche in der Nacht vom 19. auf den 20. August 1787 die Stadt Como und ihre Umgebungen verwüsteten, einige gefunden habe, welche 18 Loth wogen. Nach Nöggerath fielen während des Hagelwetters vom 7. Mai 1822 zu Bonn Hagelkörner, welche 24 bis 26 Loth wogen. Darwin erzählt von einem Hagelsturme in den Pampas von Südamerika, bei welchem Hagelkörner in der Grösse von Aepfeln fielen, durch welche Hirsche, Strausse und andere Thiere getödtet wurden. Sykes schreibt von einem Hagelwetter, welches im April 1822 in Bengalen stattfand und bei welchem Hagelkörner von solcher Grösse fielen, dass dadurch viel Vieh getödtet wurde.

Fig. 385.



Die Form der Hagelkörner ist sehr verschieden. Meistens sind die Hagelkörner nicht kugelförmig, wie Nr. 1 in Fig. 385, sondern mehr ellipsoidisch wie Nr. 2, oder auch abgeplattet, wie Nr. 3. Ihre Oberfläche ist entweder platt, oder mehr oder weniger mit warzenförmigen Erhöhungen besetzt.

Fig. 386.



Fig. 387.



Harting hat die bei einem Hagelwetter, am 9. September 1846, zu Utrecht gefallenen Körner näher untersucht und giebt folgende Beschreibung derselben. Spaltete man einen Hagelstein mit einem scharfen Messer, so zeigte sich in der Mitte des Kornes ein weisser undurchsichtiger Kern, welcher, durch ein Vergrösserungsglas betrachtet, aus kleinen Eiskryställchen und eingeschlossenen Luftbläschen zusammengesetzt erschien. Rings um diesen Kern befand sich eine aus dichterem glasigen Eise bestehende Schicht, welche den grössten Theil des Steines

ausmachte. Bei näherer Betrachtung entdeckte man, dass diese Eismasse aus einer Anzahl verschiedener Schichten bestand, welche wie die Schalen einer Zwiebel den Kern meistens nicht ganz umgeben, wie dies in Fig. 386 dargestellt ist. Jedes Korn war endlich wiederum von einer weissen undurchsichtigen Schicht umgeben, die im Bau mit der des Kernes übereinkam und zahlreiche Luftbläschen einschloss.

Manche Hagelsteine enthalten zwei, Fig. 386, oder auch drei Kerne.

Bringt man ein Hagelkorn unter das Mikroskop, so nimmt man nach Harting, während es langsam schmilzt, wahr, dass das Eis aus 0,2 bis 0,1 mm im Durchmesser haltenden Kügelchen besteht, die theilweise

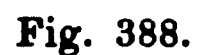

Fig. 388.



Fig. 389.



ganz rund, theilweise aber auch länglich sind, Fig. 387, und zwischen denen man hier und da kleine Luftbläschen beobachtet.

Mit dem eben beschriebenen Bau der kleineren und mittelgrossen Hagelkörner stimmen im Wesentlichen die Beschreibungen anderer Naturforscher vollkommen überein.

Fig. 388 stellt in $^1/_2$ der natürlichen Grösse den Durchschnitt von Hagelsteinen dar, wie sie Delcros am 4. Juli 1819 zu La Braconnière im Departement Mayenne beobachtete. Den kleinen centralen Kern umschloss ein grösserer, aus einer strahligen, weissen, undurchsichtigen Masse bestehender, welcher wieder von einer Schicht durchsichtigen Eises umgeben war. Die äussere Oberfläche wurde durch zahlreiche, pyramidenförmige, mit den Spitzen nach Aussen gekehrte Stücke gebildet, welche aus dichtem durchsichtigen Eise bestanden, in dem strahlenartige Streifen sichtbar waren; diese äussere Zone durchsichtigen Eises ist in unserer Figur durch dunklere Schattirung ausgezeichnet.

Mit diesen haben die Hagelsteine mannigfache Aehnlichkeit, welche Abich (Ueber krystallinischen Hagel u. s. w. Tiflis 1871) am 9. Juni 1869 in der Nähe von Tiflis beobachtete und von denen einer in Fig. 389

in natürlicher Grösse abgebildet ist. Der centrale Theil des Hagelkornes stellt einen sphäroidalen, in der Mitte gleichmässig von beiden Seiten her eingedrückten Körper von reinem, aber wegen eingeschlossener Luftblasen undurchsichtigem Eise dar, dessen Aequatorialdurchmesser gegen 3 cm betrug. Auf diesem Centralkörper erhoben sich nun und zwar vorzugsweise innerhalb des grössten Kreises des Sphäroids, theils vereinzelte, theils zusammengedrängte Krystalle von durchsichtigem Eise, deren Kanten durch Schmelzung nur schwach abgerundet waren. Das rhomboëdrische System erschien in diesen Krystallen in mannigfaltigen Abänderungen deutlich repräsentirt.

Ueber die Polarisationsverhältnisse des Hageleises ist ausser einigen vorläufigen Versuchen, welche Joh. Müller bei Gelegenheit eines am 31. August 1871 zu Freiberg i. B. stattgefundenen Hagelwetters machte (Pogg. Ann. CXLIV), wenig bekannt geworden. Als derselbe 2 bis 3 mm dicke, mit parallelen Flächen versehene Platten von Hageleis auf das mittlere Tischchen des Nörrembergischen Polarisationsapparates gelegt hatte und sie durch ein Nicol betrachtete, dessen Schwingungsebene rechtwinklig stand zu der des Polarisationsspiegels, erschien die ganze Oberfläche gesprenkelt, d. h. sie erschien in kleine, unregelmässig begrenzte, schwach aber ungleich gefärbte Fleckchen getheilt. Das Ansehen der Platte blieb im Wesentlichen dasselbe, wie man auch das Nicol um seine Axe oder die Platte in ihrer Ebene drehen mochte. Es fanden dabei an den verschiedenen Stellen der Oberfläche unbedeutende Aenderungen der Helligkeit und der Farbe statt.

In dünneren, ungefähr nur $^1/_2$ mm dicken Platten von Hageleis erschienen bei gekreuzten Nicols einzelne grössere, lebhafter gefärbte (Farben 2. und 3. Ordnung) Stellen durch breite dunkle Zwischenräume getrennt, ohne dass jedoch irgend eine scharfe Begrenzung stattgefunden hätte. Die farbigen Partien verhielten sich wie gespaltene Gypsplättchen. — Daraus geht aber hervor, dass die Hagelkörner keineswegs aus amorphem Eise bestehen, sondern dass sie aus krystallisirten Eisstücken zusammengesetzt sind, welche bunt durch einander nach den verschiedensten Richtungen orientirt sind.

Der Hagel geht gewöhnlich den Gewitterregen voran, oder er begleitet sie. Nie, oder wenigstens fast nie, folgt der Hagel auf den Regen, namentlich wenn der Regen einige Zeit gedauert hat.

Das Hagelwetter dauert meistens nur einige Minuten, selten dauert es $^1/_4$ Stunde lang. Die Menge des Eises, welches in so kurzer Zeit den Wolken entströmt, ist ungeheuer; die Erde ist manchmal mehrere Zoll hoch damit bedeckt.

Der Hagel fällt häufiger bei Tage als bei Nacht. Die Wolken, welche ihn bringen, scheinen eine bedeutende Ausdehnung und eine bedeutende Tiefe zu haben; denn sie verbreiten in der Regel eine grosse Dunkelheit. Man glaubt bemerkt zu haben, dass sie eine eigenthümliche

grauröthliche Farbe besitzen, dass an ihrer unteren Grenze grosse Wolkenmassen herabhängen und dass ihre Ränder vielfach zerrissen sind.

Die Hagelwolken scheinen meistens sehr niedrig zu schweben. Die Bergbewohner sehen öfter unter sich die Wolken, welche die Thäler mit Hagel überschütten.

Einige Augenblicke vor dem Beginne des Hagelwetters hört man ein eigenthümliches, rasselndes Geräusch. Endlich ist der Hagel stets von elektrischen Erscheinungen begleitet.

Welch enorme Ausdehnung die Hagelstürme manchmal erreichen, mögen folgende Beispiele darthun:

Ein furchtbares Hagelwetter durchzog Frankreich am 13. Juli 1738. Es verbreitete sich in zwei parallelen Streifen, welche durch einen im Durchschnitt $3^1/_4$ Meilen breiten Zwischenraum getrennt waren, auf welchem es bloss regnete, mit einer Geschwindigkeit von 16 Meilen in der Stunde von den Pyrenäen, wo es seinen Anfang genommen zu haben scheint, bis zum Baltischen Meere, wo man seine Spur verlor.

Der Hagel fiel nur sieben bis acht Minuten lang; die Hagelkörner waren theils rund, theils zackig; die schwersten wogen 16 Loth.

Die Zahl der in Frankreich verwüsteten Pfarrdörfer betrug 1039; der Schaden, welchen das Wetter anrichtete, wurde nach officiellen Angaben auf 24 690 000 Franken geschätzt.

Wesselowski berichtet von einem Hagelwetter, welches am 27. Mai 1834 Russland verheerte und vom Baltischen bis zum Schwarzen Meere sich über einen Raum von 15 Längengraden und 10 Breitengraden erstreckte.

Selten jedoch haben die Hagelwetter eine so enorme Ausdehnung, meist sind sie auf schmale, oft ziemlich scharf begrenzte Landstriche beschränkt.

Am häufigsten tritt der Hagel in der gemässigten Zone auf und zwar vorzugsweise in den Zeiten, in welchen überhaupt die heftigsten Regengüsse stattfinden. In höheren Breiten werden die Hagelwetter seltener und schwächer. In der heissen Zone sind sie zwar auch seltener, aber auch um so heftiger.

Manche Gegenden sind häufig von Hagelwettern heimgesucht, während benachbarte Orte, unter anscheinend ganz ähnlichen Verhältnissen, weit seltener von denselben getroffen werden. So hat z. B. Karsten (Beiträge zur Landeskunde von Schleswig-Holstein, Berlin 1872) durch Benutzung des statistischen Materials der seit 1834 zu Kiel bestehenden Hagelversicherungs-Gesellschaft nachgewiesen, dass auf ein Hagelwetter in Schleswig deren zwölf im Bezirk von Itzehoe, neun in Lauenburg und je fünf zu Kiel und Neumünster stattfinden.

In den Niederungen der Tropengegenden ist der Hagel äusserst selten, häufiger dagegen auf Höhen, welche einige Hundert Toisen über dem Meere liegen. Gerade das Gegentheil findet in Europa statt; hier sind die Hügelregionen am Fusse hoher Gebirge und namentlich die

Mündungen der Hochgebirgsthäler vorzugsweise dem Hagel ausgesetzt, während es auf den Höhen selten hagelt. Clermont, ganz nahe am Gebirge liegend, wird häufig vom Hagel verwüstet, während es zwischen Mont d'Or und Puy de Dome, wenige Kilometer von Clermont entfernt, aber 400 m höher, in 23 Jahren nur einmal gehagelt hat. Burgofranco, am Ausgange des Aostathales, wird fast in jedem Jahre vom Hagel heimgesucht und in den Aemtern Mendrisio und Lugano, am südlichen Abfall der Alpen, wird bei allen Berechnungen von Pachtzinsen u. s. w. vorausgesetzt, dass jährlich $^1/_{10}$ aller Landesproducte durch den Hagel zerstört wird.

Der Fuss der Karpathen wird häufiger vom Hagel getroffen als die polnischen Ebenen.

Kein Land der Erde wird wohl häufiger von Hagelstürmen der heftigsten Art getroffen, als die Abhänge des Kaukasus. So wurde z. B. Bjeloi-Kliutsch, in der Nähe von Tiflis, im Sommer 1869 dreimal durch Hagelwetter verwüstet und zwar am 27. Mai, am 9. Juni und am 24. August und bei jedem dieser Hagelwetter fielen Eissteine von der in Fig. 389 dargestellten Grösse.

Die zunehmende Entwaldung des Kaukasus soll nach Abich wesentlich dazu beitragen, dass die Hagelwetter daselbst einen immer heftigeren Charakter annehmen.

Aus alle dem geht nun hervor, dass die Bodengestaltung einen wesentlichen Einfluss auf Häufigkeit und Heftigkeit der Hagelwetter ausübt, ohne dass es jedoch bis jetzt gelungen wäre, über die Art dieses Einflusses auch nur einigermaassen sichere Anhaltspunkte zu gewinnen.

259 **Erklärung des Hagels.** Wie der Hagel einerseits eine der grössten Geisseln für den Landwirth ist, so ist auch seine Erklärung eine peinliche Frage für die Naturforscher.

Volta meinte, dass die Sonnenstrahlen an der oberen Grenze der dichten Wolke fast vollständig absorbirt würden, was eine rasche Verdunstung zur Folge haben müsse, namentlich wenn die Luft über den Wolken sehr trocken ist; durch diese Verdunstung solle nun so viel Wärme gebunden werden, dass das Wasser in den tieferen Wolkenschichten gefriert. Wenn aber die Verdunstung des Wassers in den oberen Wolkenschichten durch die Wärme der Sonnenstrahlen veranlasst wird, so ist nicht einzusehen, warum durch die Verdunstung den tieferen Wolkenschichten so viel Wärme entzogen werden soll.

Ferner nahm Volta an, dass zwei mächtige, mit entgegengesetzter Elektricität geladene Wolkenschichten über einander schweben. Wenn nun die noch sehr kleinen Hagelkörner auf die untere Wolke fallen, so werden sie bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und sich mit einer neuen Eisschicht umgeben; sie werden sich aber auch mit der Elektricität der unteren Wolke laden und von dieser zurückgestossen, während die obere sie anzieht; sie steigen also trotz ihrer Schwere wieder zu der

oberen Wolke in die Höhe, wo sich derselbe Vorgang wiederholt; so fahren sie eine Zeit lang zwischen den beiden Wolken hin und her, bis sie endlich herabfallen, wenn sie zu schwer werden und die Wolken ihre Elektricität verlieren. — Gegen diese Ansicht lässt sich einwenden, dass es schwer denkbar ist, wie die Elektricität ohne eine plötzliche Wirkung, also ohne einen Entladungsschlag, so grosse Eismassen in die Höhe zu heben vermag, und dass, wenn wirklich die elektrische Ladung der beiden Wolken auch so stark sein sollte, die Elektricität augenblicklich von einer zur andern übergehen müsste, namentlich da ja die Hagelkörner eine leitende Verbindung zwischen ihnen herstellen.

Eine andere Theorie über die Entstehung des Hagels, welche Fr. Vogel im Jahre 1849 aufgestellt hat, geht von der Voraussetzung aus, dass der Bläschendampf, welcher die Wolken bildet, weit unter den Schmelzpunkt des Eises erkalten könne, wie man dies bekanntlich auch beim tropfbar flüssigen Wasser beobachtet. Wenn nun aus einer höheren Wolkenschicht Graupelkörner durch eine in diesem Zustande befindliche Wolke herabfallen, so muss auf ihnen sich Wasser niederschlagen, welches augenblicklich erstarrt. Der niedrigen Temperatur der Wolke wegen kann auf diese Art in ganz kurzer Zeit eine massenhafte Eisbildung stattfinden.

Eine Bestätigung der eben vorgetragenen Theorie der Hagelbildung lieferte die am 27. Juli 1850 von Barral und Bixio zu Paris unternommene Luftfahrt. — Der Himmel, welcher bis Mittag vollkommen rein gewesen, begann um 1 Uhr, als die Füllung des Ballons beendigt war, sich mit Wolken zu überziehen und alsbald trat Regen ein, welcher bis 3 Uhr in Strömen herabfiel. Erst um 4 Uhr, als der Himmel noch ganz bedeckt war, konnte die Fahrt begonnen werden.

Folgendes sind einige Temperaturbeobachtungen, welche in den beigesetzten, durch das Barometer bestimmten Höhen beobachtet wurden:

Nr. 1 . . .	16° C. . . .	750 m
„ 2 . . .	9 . . .	1950 „
„ 3 . . .	0,5 . . .	3320 „
„ 4 . . .	— 7,0 . . .	5000 „
„ 5 . . .	— 10,0 . . .	6170 „
„ 6 . . .	— 15,0 . . .	6350 „
„ 7 . . .	— 39,0 . . .	6840 „

Kurz nach dem Aufsteigen sahen sich die Luftschiffer in einen leichten Nebel eingehüllt; bei der Beobachtung Nr. 2, also in einer Höhe von ungefähr 1950 m, hatten sie bereits eine Wolkenschicht unter sich, welche Paris verdeckte.

Bei der Beobachtung Nr. 4, also in einer Höhe von 5000 m, wurde der Nebel so dicht, dass ihnen die Erde vollständig verschwand. Bei Nr. 5 wurde der Nebel etwas dünner, so dass man ein weisses blasses Sonnenbild sehen konnte, zugleich fielen äusserst feine Eisnädelchen nie-

der; kurz darauf erhoben sie sich aus der Wolkenschicht, wobei das Thermometer rasch um 24° C. fiel. Bei den Beobachtungen Nr. 6 und Nr. 7 war der Himmel vollkommen heiter.

Barral und Bixio durchstiegen also eine Nebelschicht von wenigstens 4000 m Höhe. Von einer Höhe von ungefähr 3300 m an sank das Thermometer unter den Gefrierpunkt, und doch ging der Nebel erst in einer Höhe von nahe 6000 m bei einer Temperatur von — 10° in Schneewolken (Eisnädelchen) über, es war also eine ungefähr 2700 m hohe Wolke vorhanden, in welcher der Bläschendampf unter den Gefrierpunkt erkaltet war.

Im Jahre 1862 veröffentlichte Mohr eine neue Hageltheorie, welche die Hagelbildung auf das Hereinbrechen kalter Luftmassen aus den höheren Luftregionen in tiefere, mit Wasserdampf gesättigte Luftschichten zurückzuführen sucht.

Der gleiche Grundgedanke liegt auch einer schon im Jahre 1844 von Schwaab in Kassel veröffentlichten Hageltheorie zu Grunde.

Einen besonderen Werth erhält die als Inauguraldissertation bei Burckhardt in Kassel erschienene Schwaab'sche Abhandlung durch eine Zusammenstellung der Hagel-Literatur.

Die Grundidee Schwaab's ist folgende: Bei der Hagelbildung muss ein kalter Luftstrom in die Gewitterregion eindringen, wobei eine Vermischung der verschieden erwärmten Luftschichten vor sich geht. Hierdurch wird der Wassergehalt derselben condensirt, es bilden sich Schneeflocken und Graupeln, welche bei ihrer Fortbewegung vergrössert (indem auf ihrer Oberfläche beständig Dampf niedergeschlagen wird, der dann ebenfalls gefriert), zuletzt als Hagelkörner herabfallen.

In eine mit Wasserdampf gesättigte und dadurch gleichsam für das Gewitter vorbereitete Atmosphäre kann nun ein kalter Luftstrom entweder dadurch eindringen, dass sich die kalten Luftschichten aus den oberen Regionen senken, oder dadurch, dass ein eisiger Luftstrom aus der nördlichen Zone heranstürmt. Im ersteren Falle wird sich, wie Schwaab sagt, die kalte Luft über den mit Wasserdampf gesättigten Schichten ausbreiten und nach und nach in denselben einsinken; im zweiten Falle aber wird der kalte Luftstrom die mit Wasserdampf gesättigten Schichten durchbrechen und sich schneller oder langsamer mit ihnen mischen oder auch mehr unter denselben in den tieferen Regionen näher der Erde hinströmen.

Ohne weiter in das Detail der Schwaab'schen Entwickelungen einzugehen, muss nur noch bemerkt werden, dass er die Wärmemenge, welche bei der Condensation des Wasserdampfes und dem Gefrieren der in der Luft schwebenden Wassermassen frei wird, für so gering hält, dass sie bei der Betrachtung vernachlässigt werden könne, eine Behauptung, gegen die sich allerdings Manches einwenden lässt.

Andere Theorien über die Hagelbildung, z. B. von Ferrel, schreiben sie der Wirkung von Luftwirbeln zu, in denen ein stark aufwärts

gerichteter Luftstrom im Stande ist, bereits gebildete Eiskörner in die Höhe zu treiben. Es wird dann angenommen, dass sie, theilweise nach Aussen geschleudert, wieder herabsinken, aber dann wiederum nach der Axe des Wirbels gezogen und aufwärts getrieben werden. Durch dieses abwechselnde Passiren kälterer und wärmerer Luftschichten wird das ausserordentliche Anwachsen der Eisstücke erklärt.

Am Wahrscheinlichsten erscheint es wohl, dass nicht ausschliesslich eine einzige der vielen aufgestellten Theorien der Hagelbildung, auf die wir hier nicht einzeln eingehen können, den Hagel wirklich verursacht, sondern dass wohl bald die eine, bald die andere Ursache in Wirkung tritt.

Wetterprognosen. In welcher Weise die Windrichtungen mit **260**
den barometrischen Maximis und Minimis zusammenhängen, ist in einem früheren Paragraphen gezeigt worden. Wir wollen jetzt sehen, wie durch Luftdruckdifferenzen die ganze Wetterlage beeinflusst wird.

Eine warme Luft kann mehr Feuchtigkeit aufnehmen, als eine kalte; wenn also eine warme feuchte Luft in eine Gegend kommt, wo ihre Temperatur abgekühlt wird, so muss sich ein Theil ihrer Feuchtigkeit niederschlagen; es tritt Wolken-, Nebel- und Regenbildung ein. Umgekehrt wird eine kalte Luft, welche in eine wärmere und feuchte Gegend kommt, dort erwärmt und dadurch in den Stand gesetzt werden, mehr Feuchtigkeit in sich aufzunehmen. Die Folge davon ist, dass im nördlichen Europa der Südwestwind, welcher von dem durch den Golfstrom erwärmten Atlantischen Ocean herweht, regniges Wetter verursacht, während beim Nordostwind die Luft sich gewöhnlich aufklärt. Auf den Erfahrungen über die Regenwahrscheinlichkeit bei Winden gewisser Richtung, sowie über die Zugstrassen der barometrischen Depressionen beruhen hauptsächlich die modernen Witterungsprognosen. In Kürze zusammengestellt, sind nach v. Bebber's Darstellung die Witterungserscheinungen beim Vorüberziehen einer barometrischen Depression folgende:

„Nehmen wir zunächst den Fall an, dass das Minimum nördlich an uns vorübergeht, etwa von den britischen Inseln ostwärts über die Nordsee und das Skagerrak hinaus nach Südschweden hin, so lassen sich die Aenderungen in Wind und Wetter für das nordwestliche Deutschland etwa in folgender Weise darstellen. Bei Annäherung der Depression fängt mit nach Südost umgehendem und unter langsamem Auffrischen nach Süd, nachher nach Südwest drehendem Winde und vorübergehend heiterem Wetter das Barometer an zu fallen; bald darauf zeigen sich am westlichen Horizonte langgestreckte oder schleierförmige Cirruswolken, langsam zum Zenithe heraufziehend und dasselbe überschreitend, die ersten Vorboten schlechten Wetters, welches weiter nach Westen hin bereits allenthalben eingetreten ist. Wegen der geringeren Reibung ziehen diese Wolken stark nach Rechts abgelenkt vom Unterwind. Nach

und nach überzieht eine dichtere Wolkenschicht teppichartig den ganzen sichtbaren Himmel, dann erscheinen unter dieser Hülle dunkle Regenwolken, und nun beginnen ausgedehnte Niederschläge, welche zwar schwach, aber wegen ihrer längeren Dauer ergiebig sind: es sind die sogenannten Landregen, die gewöhnlich erst dann ihr Ende erreichen, wenn der Kern der Depression an dem Orte vorübergegangen ist. Ist dieser Uebergang erfolgt, so geht der Wind unter fortgesetztem Auffrischen nach West und dann nach Nordwest über, entweder nach und nach oder plötzlich in einer mehr oder weniger heftigen Böe. Jetzt haben die Niederschläge ihre grösste Stärke erreicht und werden plötzlich unterbrochen, wobei die Wolkendecke zerreisst. Mit einem Schlage ist jetzt ein neuer Witterungszustand eingetreten: blauer Himmel wechselt rasch mit schwerem Haufengewölk, aus welchem bei böigem, rasch anschwellendem und plötzlich nach nördlicheren Richtungen springendem Winde und bei rasch, oft sprungweise sinkender Temperatur heftige, aber nur kurz andauernde Regen-, Schnee- oder Hagelschauer herniederstürzen. Beim Vorübergange hatte der Luftdruck seinen geringsten Werth erreicht, jetzt geht das Barometer ins Steigen über und das Steigen dauert noch fort bis das Minimum sich in weiter Ferne befindet. Nach einiger Zeit werden die Böen seltener und schwächer, auch die Niederschläge nehmen ab und hören allmählich auf. Es folgt jetzt eine kürzere oder längere Zeit sonnigen Wetters, bis eine neue Depression, von Westen herkommend, diesem ein Ende machte. Häufig aber folgen die Depressionen so rasch aufeinander, oder es treten Randbildungen, insbesondere auf der Südseite der Depression auf, so dass die oben geschilderten charakteristischen Erscheinungen mehr oder weniger verwischt werden.

Geht die Depression südlich an uns vorüber, so sind die Aenderungen in den Witterungserscheinungen gewöhnlich viel weniger ausgesprochen, als in dem vorher besprochenen Falle. Alsdann erscheinen die Cirruswolken gewöhnlich am südwestlichen Horizonte und überziehen, nach Südost ziehend, den Himmel. Das Barometer fällt, während der Wind gegen den Sinn der Bewegung der Uhrzeiger zurückdreht. Die Wolkendecke ist meistens aschgrau am Himmel ausgebreitet, selten bilden sich unter derselben schwere Regenwolken aus, wie auch der Regen seltener auf ein kleineres Gebiet beschränkt ist, als auf der Südseite der Depression. Ist der Kern der Depression vorübergegangen, und hat der Regen aufgehört, so bleibt der Himmel noch einige Zeit bedeckt, worauf dann das Aufklären ganz allmählich erfolgt, wobei das Barometer wieder steigt und die Temperatur allmählich herabgeht.

Diese Vorgänge treten beim Vorübergange einer Depression sehr selten rein auf, denn in dem Verhalten der Depression treten so unendlich viele Modificationen und Umwandlungen auf, dass kaum ein Fall mit einem anderen vollkommen übereinstimmt. Nicht die Depressionen sind an und für sich für Wind und Wetter in unseren Gegenden maassgebend, sondern vielmehr die mannigfachen secundären Ausbildungen und deren

Verhalten im Bereiche der Depressionen. Daher kommt die gewiss unerfreuliche Thatsache, dass die Handhabe der Wettervorhersage noch mit so ausserordentlichen Schwierigkeiten verknüpft ist, und dass das Maass der Treffsicherheit noch nicht den Grad erreicht hat, der bei der hohen Wichtigkeit dieses Zweiges der Meteorologie wohl wünschenswerth wäre."

Es ist bisher nur von dem Einflusse der barometrischen Depressionen auf das Wetter die Rede gewesen, indessen haben auch die barometrischen Maxima einen wesentlichen Einfluss auf die Witterung. Doch ist der Einfluss insofern ein anderer, als die Gebiete der barometrischen Maxima einestheils in der Regel weit mehr ausgebreitet sind als die der Minima, anderentheils aber auch eine weit geringere Intensität haben. Wegen des letzteren Umstandes bringen sie nur schwache Luftbewegungen hervor, sie charakterisiren sich also dadurch, dass sie ruhiges constantes Wetter verursachen. Die Feuchtigkeit der Luft schlägt sich in den Nächten theilweise als Thau oder Reif auf dem Erdboden nieder, die Trockenheit der Luft steigt und es entsteht im Sommer warmes, im Winter dagegen Frostwetter.

Für einen bestimmten Ort kann die Wetterprognose dadurch wesentlich an Sicherheit gewinnen, dass ein Beobachter sich durch jahrelanges sorgfältiges Studium mit den Witterungsänderungen und den sie begleitenden Erscheinungen beschäftigt. Schon eine genaue Beobachtung der Wolkenform kann eine wesentliche Stütze für die Wetterprognose geben, doch ist es unmöglich, die Erfahrungen, welche ein Einzelner hierbei gesammelt hat, Anderen so mitzutheilen, dass er sie sofort selbstständig verwerthen kann; noch weniger sind Regeln, welche für einen Ort gelten, ohne Weiteres für einen anderen anzuwenden.

VIERTES BUCH.

DIE
ELEKTRISCHEN UND MAGNETISCHEN
ERSCHEINUNGEN
AUF DER
ERDOBERFLÄCHE.

Erstes Capitel.

Atmosphärische Elektricität.

Entdeckung der atmosphärischen Elektricität. Otto von Guerike, der berühmte Erfinder der Luftpumpe, war der Erste, welcher eine elektrische Lichterscheinung beobachtete. Als später, 1708, Wall einem grossen geriebenen Harzcylinder kräftige elektrische Funken entlockte, kam er alsbald auf den glücklichen Gedanken, denselben mit dem Blitze zu vergleichen. „Dieser Funken und dieses Knacken," sagt Wall in seiner Abhandlung (Philosoph. Transactions), „scheinen gewissermaassen den Blitz und den Donner darzustellen." Die Analogie war überraschend; um aber ihre Wahrheit darzuthun, um in einer so kleinen Erscheinung die Ursache und die Gesetze von einer der grossartigsten Naturerscheinungen zu erkennen, bedurfte es directer experimenteller Beweise. 261

Die Aehnlichkeit zwischen dem elektrischen Funken und dem Blitze trat noch deutlicher hervor, als die Entdeckung der Leydener Flasche und der elektrischen Batterie gemacht worden war; Franklin war jedoch der Erste, welcher daran dachte, das von ihm aufgefundene Ausströmen oder Einsaugen der Elektricität durch Spitzen zu benutzen, um unmittelbar die elektrische Natur der Gewitterwolken nachzuweisen und sich durch solche Spitzen vor den Entladungen derselben zu schützen. Da er aus Mangel an Hülfsmitteln die entsprechenden Versuche nicht selbst anstellen konnte, so munterte er die Physiker Europas auf, dieselben zu verfolgen. Der Erste, welcher dieser Aufforderung Folge leistete, war Dalibard, ein französischer Physiker, welcher zu Marly-la-Ville eine Hütte bauen liess, über welcher eine am unteren Ende isolirte Eisenstange von 40 Fuss Länge aufgerichtet wurde. Als am 10. Mai 1752 eine Gewitterwolke über die Stange hinwegzog, liessen sich aus dem isolirten Ende derselben Funken ziehen und überhaupt zeigte es alle Erscheinungen, welche man am Conductor der Elektrisirmaschine beobachtet.

Unterdessen hatte aber auch Franklin selbst seine Idee weiter verfolgt. Mit Ungeduld erwartete er die Vollendung eines Glockenthurmes, welcher damals zu Philadelphia aufgeführt werden sollte; endlich aber, des Wartens müde, nahm er zu einem anderen Mittel seine Zuflucht, welches noch sicherere Resultate geben musste. Da es ja nur darauf ankam, einen Leiter hoch genug in die Luft zu erheben, so dachte Franklin, dass ein Drache, ein Spielwerk der Kinder, ihm eben so gut dienen könnte, wie der höchste Thurm. Er verfertigte also einen Drachen, zu welchem er statt des Papiers, welches vom Regen aufgeweicht und dann leicht vom Winde zerrissen worden wäre, ein grosses seidenes Tuch verwendete; am oberen Ende des verticalen Stabes im Drachen befestigte er eine eiserne Spitze, welche mit der Schnur in leitende Verbindung gebracht wurde, an welcher man die ganze Vorrichtung steigen liess.

Mit diesem Drachen begab sich Franklin, nur von seinem Sohne begleitet, ins Freie, als ein Gewitter aufstieg. Eine Wolke, welche viel versprach, zog über dem Drachen hin, ohne irgend eine Wirkung hervorgebracht zu haben; andere zogen vorüber, und es zeigte sich kein Funken, kein Zeichen von Elektricität, ohne Zweifel, weil die Schnur ein zu schlechter Leiter der Elektricität war; endlich, nachdem sie durch den Regen feucht und in Folge dessen besser leitend geworden war, fingen die Fasern am unteren isolirten Ende der Schnur an, sich aufzustellen, und es liess sich ein schwaches Geräusch hören. Dadurch ermuthigt, hielt Franklin den Finger gegen das Ende der Schnur, und siehe da, ein Funken sprang über, welchem bald mehrere folgten.

Franklin hatte diesen Versuch im Juni 1752 angestellt. Durch Franklin's ersten Gedanken geleitet, war auch De Romas zu Nerac auf die Idee gekommen, einen Drachen statt der hochgestellten Spitzen anzuwenden.

Ohne von Franklin's Resultaten Kunde zu haben, erhielt er mit seinem Drachen im Juni 1753 sehr kräftige Zeichen von Elektricität, weil er den glücklichen Gedanken hatte, in die Schnur ihrer ganzen Länge nach einen feinen Metalldraht einflechten zu lassen. (Mém. des Savans étrangers, Tome II.) Im Jahre 1757 wiederholte De Romas seine Versuche und erhielt Funken von überraschender Grösse. „Man denke sich," sagt er, „Feuerstreifen von 9 bis 10 Fuss Länge und 1 Zoll Dicke von einem Krachen begleitet, welches eben so stark, ja stärker ist, als ein Pistolenschuss. In weniger als einer Stunde erhielt ich wenigstens 30 solcher Funken, tausend andere nicht zu zählen, welche 7 und weniger Fuss lang waren." (Mém. des Savans étrangers, Tome VI.)

Um das untere Ende der leitenden Schnur gehörig zu isoliren, band De Romas eine seidene Schnur von 8 bis 10 Fuss Länge daran; statt die Funken, wie es Franklin gethan hatte und was ihm leicht hätte gefährlich werden können, mit der Hand auszuziehen, wandte er zu diesem Zwecke einen eigenen Funkenzieher, d. h. einen metallischen Leiter an, welcher mit dem Boden in leitender Verbindung stand. Trotz aller

dieser Vorsichtsmaassregeln aber wurde er einmal durch einen Schlag, der ihn selbst traf, zu Boden geworfen.

Feste Sammelapparate für atmosphärische Elektricität. Durch diese Versuche war nun die Identität des Blitzes und der elektrischen Funken vollständig nachgewiesen; sie wurden vielfach, zum Theil in höchst unvorsichtiger Weise wiederholt, indem man zum Ansammeln der atmosphärischen Elektricität theils den elektrischen Drachen, oder, weil seine Anwendung doch mit mannigfachen Schwierigkeiten und Umständlichkeiten verbunden ist, eiserne Spitzen auf isolirenden hölzernen Stangen befestigt anwandte, von denen man die Elektricität durch isolirte Leitungsdrähte bis zum Beobachtungsorte führte. 262

Im grossartigsten Maassstabe führte Crosse zu Broomfield bei Taunton einen solchen Sammelapparat aus. Auf einigen der höchsten Bäume seines Parkes wurden Stangen befestigt, welche die wohl isolirten oberen Enden der Leitungsdrähte trugen; alle diese Leitungsdrähte liefen auf der Spitze eines in dem Boden befestigten Mastes zusammen, von wo ein ebenfalls wohl isolirter starker Kupferdraht in das Beobachtungszimmer hineingeleitet war, der in einem grossen, gut isolirten messingenen Conductor endete; diesem Conductor gegenüber stand ein Funkenzieher, welcher zu einem benachbarten Teiche abgeleitet war und dessen messingene Kugel mittelst einer Schraube dem ersten Conductor nach Belieben näher oder ferner gebracht werden konnte. Durch einen mit einem gläsernen Handgriffe versehenen Hebel konnte man die Elektricität schon ausserhalb des Beobachtungsraumes in den Boden ableiten, wenn die Entladungen zu stark wurden oder wenn überhaupt die Beobachtungen eingestellt werden sollten.

Solche feste Sammelapparate lassen sich nun auch in kleinerem Maassstabe und mit geringeren Kosten ausführen. Fig. 390 (a. f. S.) stellt eine solche Vorrichtung dar; eine eiserne oder messingene, oben zugespitzte Stange A von etwa 1 m Länge ist auf dem oberen Ende einer 7 bis 10 m hohen hölzernen Stange B angebracht, welche selbst auf dem höchsten Gipfel des Beobachtungsgebäudes befestigt ist. Es ist gut, wenn das Gebäude, auf welchem man die Saugspitzen aufrichtet, möglichst frei steht oder wenigstens etwas über die benachbarten Häuser hervorragt. Damit die Saugspitze A durch die Stange B gehörig isolirt sei, ist dieselbe mit einem Hut C von Kupferblech oder von Guttapercha versehen, welcher ungefähr 8 cm im Durchmesser halten und 30 cm lang sein mag; durch diesen Hut wird das obere Ende der Stange B selbst bei Regenwetter trocken erhalten.

Von der Saugspitze A ist nun ein Kupferdraht d (am besten ein mit Guttapercha überzogener) herabgeleitet und an einem messingenen Stäbchen fg befestigt, welches, in eine isolirende Glasröhre eingekittet, die von oben herabkommende Elektricität durch die Wand des Beobachtungszimmers hindurch zu der ungefähr zweizölligen Kugel h führt.

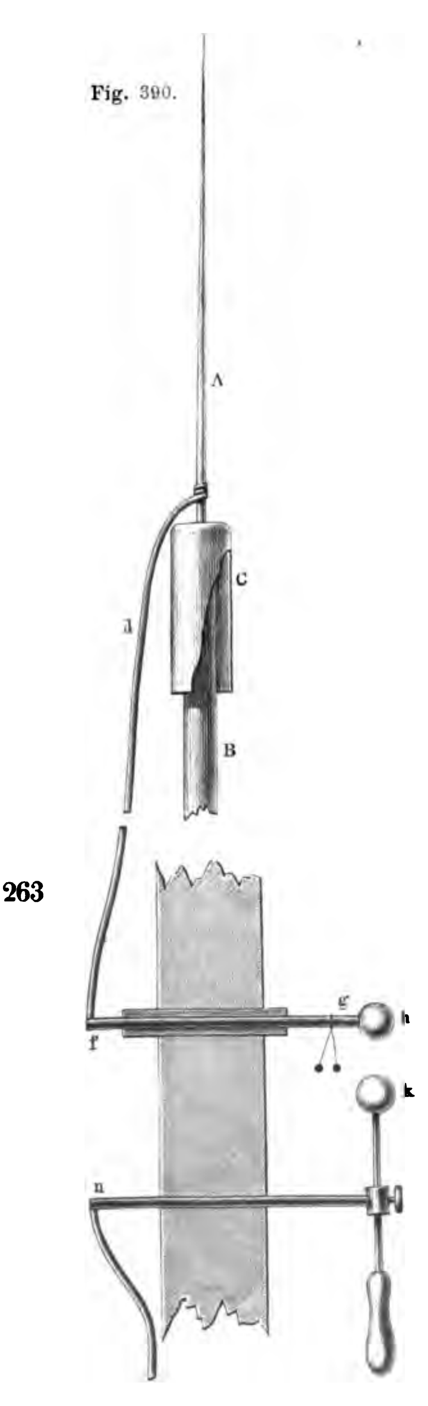


Fig. 390.

Der besseren Isolirung wegen kann auch die Glasröhre wenigstens an ihrem äusseren Ende durch eine Kappe von Guttapercha verschlossen sein. Dieser Kugel *h* gegenüber, welche hier die Rolle des ersten Conductors spielt, befindet sich eine zweite messingene Kugel *k*, welche als Funkenzieher dienend zum Boden abgeleitet ist, wie man in der Figur sehen kann. Diese zweite Kugel kann nach Belieben höher oder tiefer gestellt und so ihr Abstand von *h* regulirt werden. Um den Apparat ausser Wirksamkeit zu setzen, hat man nur zwischen *f* und *n* auf irgend eine zweckmässige Weise eine leitende Verbindung herzustellen.

Wenn die Luftelektricität einen gewissen Grad von Stärke erreicht hat, so divergiren die bei *g* angehängten elektrischen Pendel; wird sie noch stärker, so schlagen zwischen *h* und *k* Funken über, und man kann alsdann an der Kugel *h* eine Leydener Flasche oder eine ganze Batterie laden, wie an dem Conductor einer Elektrisirmaschine.

263 **Beobachtung schwacher Luftelektricität.** Es ist in den vorigen Paragraphen nur von der Elektricität der Gewitterwolken und von den elektrischen Erscheinungen die Rede gewesen, welche man an dem Conductor der Sammelapparate während eines Gewitters beobachtet. Bringt man aber mit dem Sammelapparate hinlänglich empfindliche Elektrometer in Verbindung, so zeigen diese fast immer, selbst bei ganz heiterem Himmel, bald mehr bald weniger starke elektrische Ladungen.

Volta wandte zur Messung der atmosphärischen Elektricität das von

ihm construirte Strohhalmelektrometer an, welches zwar weniger empfindlich als das Goldblattelektrometer, aber mit einem Gradbogen versehen, mehr für Messungen geeignet ist.

Wird die Ladung eines solchen Elektrometers so stark, dass die Pendel über 30° divergiren, so strömt die Elektricität leicht aus; zur Messung stärkerer Elektricität ist deshalb ein zweites ähnlich construirtes Elektrometer nöthig, dessen Pendel statt aus Strohhalmen aus dünnen Holzstäbchen bestehen. Volta construirte ein solches, welches 1° Divergenz gab, während bei gleicher Ladung sein Strohhalmelektrometer bis zu 5° divergirte. Eine Divergenz von 25° am Holzpendel-Elektrometer entsprach also 125 Graden des Strohhalmelektrometers.

Später wurden auch das Bohnenberger'sche Säulenelektroskop und die Coulomb'sche Drehwage zur Untersuchung der Luftelektricität angewendet, in neuerer Zeit dient aber zu diesem Zwecke vorzugsweise das Dellmann'sche Elektrometer und einige andere nach dem Princip der Drehwage construirte Apparate. Ein transportables Elektrometer, dessen sich F. Exner zu solchen Untersuchungen bediente, ist im Lehrbuch der Physik, 9. Aufl., Bd. 3, S. 305 beschrieben und abgebildet.

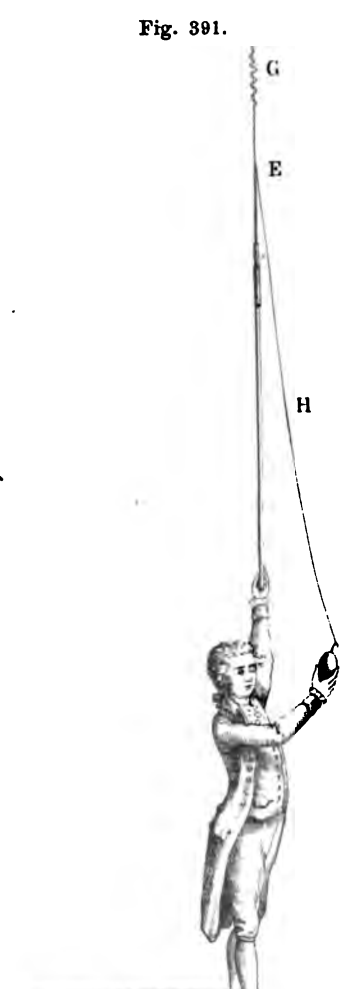
Statt das Elektrometer unmittelbar mit der Saugvorrichtung in Verbindung zu bringen, verfuhr Volta öfters auch so, dass er eine kleine, dünnglasige Leydener Flasche von 10 bis 12 Quadratzoll äusserer Belegung mit einer Saugvorrichtung in Verbindung brachte und dann die Ladung der kleinen Flasche an einem Elektrometer prüfte. Fig. 391 (a. f. S.) erläutert das ganze Verfahren, welches Volta anwandte, um das Fläschchen im Freien durch die Luftelektricität zu laden. Der Beobachter hält dasselbe in der rechten Hand, in der linken aber einen Spazierstock, auf welchen mittelst einer Hülse von Messingblech ein Glasstab aufgesetzt wird; auf diesen Glasstab wird dann wieder eine messingene Kappe aufgesetzt, auf welche ein in eine Spitze auslaufender Stahldraht aufgeschraubt ist. Auf das obere Ende dieses stählernen Leiters bei *G* wird nun mit Hülfe von dünnem Eisendraht ein Schwefelfaden aufgebunden und ferner bei *E* ein dünner Metalldraht *H* befestigt, welcher unten mit einer Schleife endet. Das Messingstäbchen, welches durch den Hals der Flasche gehend zur inneren Belegung führt, ist oben statt mit einer Kugel mit einem Haken versehen, welcher in jene Schleife eingehängt wird.

Die Flamme des an seinem obersten Ende angezündeten Schwefelfadens wirkt ganz wie feine Spitzen, sie saugt die Luftelektricität gleichsam ein, welche dann durch den Draht *H* der kleinen Leydener Flasche zugeführt wird.

Mit der in Fig. 391 abgebildeten Saugvorrichtung lässt sich natürlich das Strohhalmelektrometer auch unmittelbar laden, wenn man dasselbe statt der Flasche in der rechten Hand haltend, in die Schleife des Drahtes *H* einhängt. Zu diesem Zwecke muss dann das isolirte Messingstäbchen, an welchem die Strohhalmpendel hängen, oben hakenförmig gebogen sein.

Um im Zimmer die Luftelektricität zu untersuchen, brauchte man nur den Stock der eben beschriebenen Vorrichtung mit seiner Stahlspitze und dem brennenden Schwefelfaden zum geöffneten Fenster hinaus zu halten und im Uebrigen zu verfahren, wie oben erwähnt wurde. Ein solches Verfahren ist aber mühsam.

Fig. 391.



Um diese Unbequemlichkeit zu vermeiden, steckte Volta durch das geöffnete Fenster eine etwa 12 Fuss lange hölzerne Stange hinaus, deren unteres Ende durch isolirende Träger gehalten wurde und an deren oberem Ende eine kleine Laterne von Blech befestigt war, in welcher eine kleine Kerze brannte. Von dieser Laterne ist dann ein Metalldraht gehörig isolirt durchs Fenster herein geführt, mit dessen unterem Ende man das Elektrometer in Verbindung bringen kann.

Fig. 392 zeigt eine von Romershausen construirte Vorrichtung zum Aufsaugen der Luftelektricität. *D* ist das Dach des Hauses, *F* das Fenster des Beobachtungszimmers. Die ungefähr 10 bis 12 Fuss lange Stange von lackirtem Tannenholz steckt unten bei *m* in einem eisernen Schuh und trägt an ihrem oberen Ende eine Messinghülse *i*, in welche ein mit Schellack überzogener, $1^1/_2$ Fuss langer Glasstab eingekittet ist. Dieser trägt dann die Saugvorrichtung *gn*.

Zu mehrerer Deutlichkeit ist diese Saugvorrichtung in Fig. 393 in grösserem Maassstabe dargestellt. Im Inneren eines 5 Zoll im Durchmesser haltenden, flachen Kupferringes sind die kupfernen, galvanisch vergoldeten und nach oben fein zugespitzten Auffangsdrähte *dd* angelöthet. Ein im Durchmesser dieses Ringes angebrachter Kupferbügel trägt unterhalb die Hülse *g* zur Befestigung auf der Glasstange *h* und oberhalb ist eine höhere Drahtspitze *bc* eingelöthet.

Dieser oben fein zugespitzte und vergoldete, etwa 1 Linie dicke Kupferdraht ist ringsum mit feinen haarförmigen Platinspitzen umgeben, und

wird am leichtesten auf folgende Weise verfertigt: Die untere Hälfte des Drahtes wird mit Zinnloth überzogen und alsdann, wie Fig. 394 ver-

Fig. 392.

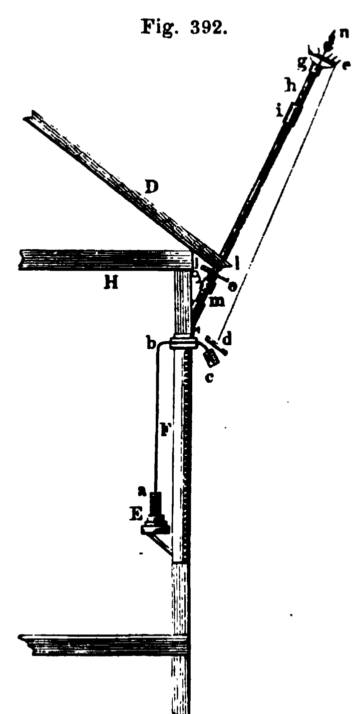
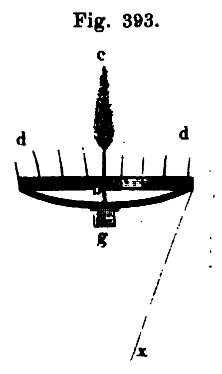


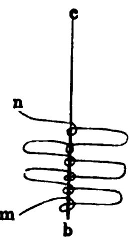
Fig. 393.



deutlicht, mit dem feinsten Platindraht umwunden und die Windungen über einer Spirituslampe angeschmolzen; die Schleifen werden alsdann aufgeschnitten und die Drahtspitzen zu einem Busch geordnet, wie es die vorige Figur zeigt.

Der kupferne Leitungsdraht *dc*, Fig. 392, wird bei *e* an den Kupferring angelöthet; bei *d* erhält derselbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt (ein gleiches ist bei *o* an der Stange angebracht). Bei *c* wird der von oben kommende Leitungsdraht mit dem in das Zimmer führenden am bequemsten mit einer Klemmschraube verbunden; bei *b* geht dieser letztere Draht durch eine Glasröhre, in welche er mit Schellack eingekittet ist, vermöge deren er gehörig isolirt durch ein Loch des Fensterrahmens in das Zimmer eintritt. Der Draht *ba* geht dann herab zu dem seitwärts vom Fenster aufgestellten und vor der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützten Elektrometer *E*.

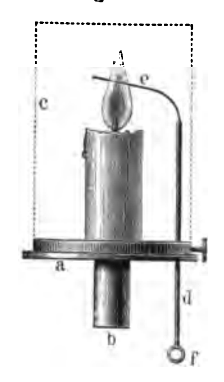
Fig. 394.



Nehmen wir nun an, dass die Luft über der Spitze des Saugapparates wirklich elektrisch sei, so wird ihre Elektricität vertheilend auf das ganze isolirte System wirken, dessen unteres Ende durch die Pendel des Elektrometers gebildet wird; die ungleichnamige Elektricität wird in die Spitze gezogen und strömt hier aus, die gleichnamige wird in die Pendel hinabgetrieben, das Elektrometer wird also mit derselben Elektricität geladen, welche in der Luft vorhanden ist.

Auf demselben Principe, wie die bisher beschriebenen Apparate, beruht derjenige, dessen sich Exner bei seinen Untersuchungen bedient hat. Die Saugvorrichtung besteht hier wieder aus einer Kerzenflamme (Fig. 395). Die Messingplatte *a* trägt die Kerze; ausserdem geht durch sie ein mit einer Klemmschraube befestigter Platindraht *de*, welcher oben in die Flamme hineinragt, und unten eine Oese *f* hat, durch welche er mit dem zum Elektrometer führenden Draht verbunden ist. Ein Schirm *c* schützt die Flamme gegen Luftzug, und *b* ist die Hülse, mit welcher der ganze Saugapparat auf eine Stange aufgesetzt werden kann.

Fig. 395.



Anders verhält es sich bei den Beobachtungsmethoden, welche Lamont, Dellmann, Peltier und Quetelet anwandten. Diese Methode besteht im Wesentlichen darin, dass eine isolirte Kugel an einem erhabenen Orte aufgestellt und daselbst für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird; dabei nimmt die Kugel eine Elektricität an, welche derjenigen gerade entgegengesetzt ist, mit welcher sich unter sonst gleichen Umständen nach der obigen Methode das Elektrometer geladen haben würde. Ist nämlich die Luft elektrisch, so wird sie durch Vertheilung die ihr entgegengesetzte Elektricität in die Kugel ziehen, welche mit dieser Elektricität geladen bleibt, wenn man die leitende Verbindung mit dem Boden wieder aufhebt.

Bei Lamont bildete die fragliche Kugel das obere Ende des Elektrometers. Behufs einer Beobachtung trug er das Elektrometer auf das flache Dach der Sternwarte, berührte auf kurze Zeit mit dem Finger die Kugel oder noch besser die metallene Röhre, auf welcher sie angebracht war, und trug dann das Elektrometer wieder in das Zimmer herab, wo die Ablesung desselben vorgenommen wurde.

Dellmann liess das Elektrometer stets im Zimmer stehen. Die 8 bis 15 cm im Durchmesser haltende Ladungskugel *n*, Fig. 396, wird von einem Metallstäbchen getragen, welches in einem Fuss von Schellack befestigt ist. Eine Kautschukplatte bildet die Basis dieses Fusses, welcher mit einem Kautschukring umgeben in die obere Hälfte der messingenen, ungefähr 25 cm langen Hülse *l* eingesetzt wird, wie Fig. 397 in grösserem Maassstabe zeigt.

Am oberen Ende dieser Hülse wird das Stäbchen durch eine gleichfalls mit einem Kautschukringe umgebene Schellackplatte gehalten.

An der Giebelwand des Gebäudes, in welchem sich das Beobachtungszimmer befindet, sind in 2 m Abstand von einander zwei eiserne Stangen *a* und *b*, Fig. 396, eingelassen, welche ungefähr 30 cm von der Wand entfernt Ringe tragen, durch welche die 7 m lange Stange *s* von Tannenholz hindurchgeht. Auf diese Stange wird nun von einem Fenster des

Giebels aus die Hülse l mit der Sammelkugel aufgesetzt, und dann die Stange mittelst eines um eine Rolle geschlungenen Seils aufgezogen, bis der eiserne Schuh d, auf welchem die Stange s aufsitzt, an den Ring bei a anstösst. In dieser Stellung befestigt, ragt nun die Sammelkugel weit über den Giebel des Hauses hinweg. Um sie für kurze Zeit mit dem Boden in leitende Verbindung zu bringen, ist an der Stange ein metallener Hebel angebracht, von welchem ein Messingdraht herabhängt; durch Anziehen desselben wird der metallene Hebel so weit gedreht, dass der Messingbacken k die Kugel n berührt. Nachdem die Berührung kurze Zeit gedauert hat und die Kugel geladen ist, lässt man den Draht h wieder los, der Hebel fällt durch sein eigenes Gewicht in seine vorige Stellung zurück und nun wird die Stange wieder niedergelassen, die Hülse mit der Sammelkugel abgehoben und in das Zimmer zurückgebracht. Hier wird sie nun neben dem Elektrometer auf den Tisch gestellt, mit demselben durch einen ungefähr 2 mm dicken und 30 cm langen sorgfältig isolirten Messingdraht in Verbindung gebracht und endlich der Ausschlag des Elektrometers abgelesen.

Fig. 396.

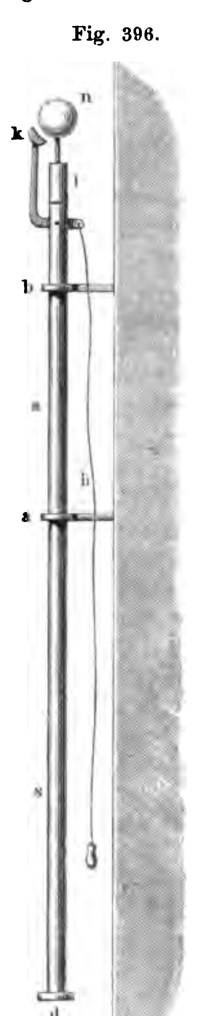


Fig. 397.

Atmosphärische Elektricität an verschiedenen Localitäten. 264 Wenn man nach irgend einer der im vorigen Paragraphen angegebenen Methoden verfährt, so erhält man fast immer mehr oder weniger starke elektrische Ladungen, vorausgesetzt, dass sich keinerlei feste Körper gerade über den Saugspitzen oder der Sammelkugel befinden. In einem Zimmer, unter dem höchsten Gewölbe, im Inneren eines Waldes oder überhaupt unter Bäumen wird man nie eine Spur von Elektricität finden. Ist aber das Zenith wirklich frei, so zeigt sich unter sonst gleichen Umständen die atmosphärische Elektricität um so stärker, je weniger hohe Gegenstände sich neben den Saugspitzen oder den Ladungskugeln erheben; in der Ebene, auf freiem Felde erhält man also stärkere

Ladungen als in der Sohle eines tief eingeschnittenen Thales oder auf der Strasse zwischen Häusern.

Man hat deshalb die Sammelapparate so aufzustellen, dass sie möglichst frei stehen und dass sich in ihrer Nähe keine höheren Gegenstände befinden.

Die Intensität der Luftelektricität nimmt zu mit der Erhebung in der Atmosphäre. Wenn man das Strohhalmelektrometer unmittelbar mit einer Stahlspitze versieht, an derselben einen brennenden Schwefelfaden befestigt und dann den Apparat mit der einen Hand in die Luft hebt, so wird die Divergenz der Pendel nur halb so gross, als wenn man den Versuch in der Fig. 391 angedeuteten Weise anstellt. Es rührt dies nur daher, dass sich im letzteren Falle die Spitze mit dem Schwefelfaden höher über dem Boden befindet, als im ersteren. Je länger der in der Hand gehaltene Stab ist, welcher die Spitze trägt, desto stärker fällt die Ladung des Elektrometers oder der kleinen Leydener Flasche aus.

Schübler fand dies auch an einem freistehenden Thurme bestätigt; 30 Fuss über dem Boden und 5 Fuss von der Mauer weggehalten, zeigte das Elektrometer eine Divergenz von 15 Graden, während auf dem höchsten freien Punkte des Thurmes 180 Fuss über der Erdoberfläche die Divergenz auf 64^0 stieg; ferner fand er dies Gesetz auf einer Reise durch die Alpen bestätigt. Auf den Gipfeln hoher Bergspitzen und auf einzelnen isolirten schroffen Felsspitzen zeigte sich die Luftelektricität weit intensiver, als man sie unter sonst gleichen Umständen in ebenen Gegenden beobachtet.

Während der Luftfahrt, welche Biot und Gay-Lussac am 24. August 1804 unternahmen, machten sie neben anderen physikalischen Beobachtungen auch einige Versuche über Luftelektricität in den höheren Regionen. Sie liessen einen 240 Fuss langen und unten mit einer Metallkugel beschwerten Metalldraht isolirt aus der Gondel herab und fanden, dass er an seinem oberen Ende mit —E geladen sei, deren Intensität bei fernerem Steigen zunahm (Gilbert's Annalen Bd. XX, S. 15), und somit bestätigen auch diese Versuche den oben ausgesprochenen Satz.

265 **Die Luftelektricität bei verschiedenem Zustande des Himmels.** Bei heiterem, unbewölktem Himmel zeigt sich die Luftelektricität stets positiv; d. h. ein mit einem Saugapparat in Verbindung gebrachtes Elektrometer, wie es z. B. Volta anwandte, wird bei heiterem Himmel stets mit positiver Elektricität geladen, während man nach den Methoden von Dellmann und Lamont eine negative Ladung erhält.

Bei heiterem Wetter brachte die Luftelektricität an dem von Schübler in Stuttgart angewandten Strohhalmelektrometer ungefähr eine Divergenz von 12 Graden hervor.

Sehr stark ist die Luftelektricität bei Nebeln, und zwar ist sie während derselben bis auf wenige Ausnahmen positiv, wie bei heiterem

Himmel. Nach den Beobachtungen von Schübler bewirkt die positive Elektricität bei Nebeln im Durchschnitt eine Divergenz von 22,7° seines Elektrometers, sie ist also nahe doppelt so gross, als bei heiterem Himmel. Im Allgemeinen wächst die Stärke der atmosphärischen Elektricität mit der Dichtigkeit der Nebel.

Auch der Niederschlag des Thaues ist stets von einer starken Elektricität begleitet.

Fast alle atmosphärischen Niederschläge, wie Regen, Schnee, Hagel, zeigen sich bald mehr, bald weniger elektrisch, und zwar ist ihre Elektricität in der Regel weit stärker als die, welche man bei heiterem Himmel sieht. Es zeigt sich hier auch nicht mehr bloss positive Elektricität, sondern abwechselnd positive und negative. So fand Schübler während 12 Monaten das meteorische Wasser 71 mal positiv und 69 mal negativ; der Schnee war jedoch hierbei 24 mal positiv und nur 6 mal negativ.

Am schwächsten zeigt sich die Elektricität des Regens, wenn er anhaltend und gleichmässig in kleinen Tröpfchen niederfällt.

Periodische Veränderungen der atmosphärischen Elektricität. 266 Wie der Druck, die Wärme und der Feuchtigkeitsgehalt der Atmosphäre fortwährenden Schwankungen unterliegen, so auch die Luftelektricität, und zwar ist auch hier eine Periodicität nicht zu verkennen, wenn man die Mittelzahlen betrachtet, welche sich aus längere Zeit fortgesetzten Beobachtungsreihen ergeben.

Der tägliche Gang der Luftelektricität bei heiterem Wetter wird von Schübler in folgender Weise beschrieben: Bei Sonnenaufgang ist die atmosphärische Elektricität schwach; sie fängt, so wie sich die Sonne mehr über den Horizont erhebt, langsam zu steigen an, während sich gewöhnlich gleichzeitig die in den tieferen Luftschichten schwebenden Dünste vermehren. Gewöhnlich steigt die Elektricität unter diesen Umständen im Sommer bis gegen 6 und 7 Uhr, im Frühling und Herbst bis gegen 8 und 9 Uhr, im Winter bis gegen 10 und 11 Uhr; die Elektricität erreicht um diese Zeit ihr Maximum. Gleichzeitig sind die unteren Luftschichten oft sehr dunstig, der Thaupunkt liegt höher als bei Sonnenaufgang; in kälterer Jahreszeit tritt oft wirklicher Nebel ein.

Die Elektricität bleibt gewöhnlich nur kurze Zeit auf diesem Maximum stehen; sie vermindert sich wieder, während die dem Auge etwa sichtbaren Dünste in den unteren Luftschichten verschwinden. Einige Stunden vor Sonnenuntergang, im Sommer von 4 bis 5 und 6 Uhr, im Winter gegen 3 Uhr, erreicht die atmosphärische Elektricität wieder ein Minimum, in welchem sie etwas länger verharrt, als im Maximum.

Mit Sonnenuntergang nimmt die Luftelektricität wieder rasch zu, während sich gleichzeitig die Dünste in den unteren Schichten der Atmosphäre wieder vermehren, und erreicht $1^1/_2$ bis 2 Stunden nach Sonnenuntergang ihr zweites Maximum.

Ueberhaupt ist die positive Elektricität in den unteren Luftschichten um so stärker, in je grösserer Menge sich Wasserdünste dem Auge sichtbar niederschlagen; am stärksten ist sie daher in der kalten Jahreszeit, wo Dünste und Nebel oft lange die unteren Luftschichten erfüllen, am schwächsten in den heisseren Sommermonaten, wo dies weit seltener der Fall ist, und wo die unteren Luftschichten gewöhnlich eine grössere Klarheit und Durchsichtigkeit besitzen.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate zweijähriger Beobachtungen, welche Schübler bei heiterem oder wenig bewölktem Himmel anstellte. Er sammelte die Elektricität in einer kleinen Leydener Flasche und maass dieselbe an einem mit einem Condensator versehenen Strohhalmelektrometer.

In den Monaten	Mittlere Stärke der Elektricität				Mittlere Stärke
	Erstes Minimum kurz vor ⨀Aufgang	Erstes Maximum einige Stunden nach ⨀Aufgang	Zweites Minimum einige Stunden vor ⨀Untergang	Zweites Maximum einige Stunden nach ⨀Untergang	
Januar . . .	14,7	33,0	19,1	51,8	24,4
Februar . . .	7,5	25,5	16,3	24,5	18,5
März	5,3	13,0	6,4	14,0	9,7
April	4,0	14,7	4,7	7,6	7,8
Mai	4,1	13,0	4,3	10,3	7,9
Juni	4,6	12,8	3,9	12,0	8,3
Juli	4,8	13,5	4,5	14,4	9,5
August	5,8	15,9	5,4	16,1	10,8
September . .	5,5	15,4	5,0	15,6	10,4
October . . .	7,2	15,3	6,3	19,7	12,3
November . .	5,5	14,4	8,2	17,4	11,8
December . .	12,4	18,8	12,8	20,7	16,3
Mittel	6,9	16,9	8,1	17,0	12,2

Durch lebhafte Winde, welche eine periodische Ansammlung von Dünsten verhindern, werden die täglichen Perioden der Luftelektricität sehr verwischt.

Die Elektricität der Wolken und der aus ihnen erfolgenden wässerigen Niederschläge zeigt einen merkwürdigen Gegensatz zur Elektricität der unteren Luftschichten.

Der Regen ist nämlich in den Sommermonaten ungleich stärker elektrisch, als in der kälteren Jahreszeit. Die Elektri-

cität des Regens im Monat Juli ist im Durchschnitt nahe zehnmal so stark als die Elektricität der Niederschläge im Januar.

Diese Resultate, welche Schübler und andere ältere Physiker aus ihren Beobachtungen gezogen haben, werden in ihren wesentlichen Punkten auch durch die neueren Beobachtungen bestätigt, von denen sehr zu wünschen ist, dass sie nicht allein an den Orten fortgesetzt werden, an welchen sie bereits begonnen wurden, sondern dass nach dem gleichen Plane mit vergleichbaren Instrumenten auch an anderen Orten fortlaufende Beobachtungen über diesen für die Meteorologie so wichtigen Gegenstand angestellt werden.

Elektrische Erscheinungen auf der Cheopspyramide. 267

In dem CIX. Bande von Poggendorff's Annalen beschreibt Siemens ungewöhnlich starke elektrische Erscheinungen, welche er auf der Cheopspyramide bei Kairo während des Wehens des Chamsin beobachtet hat.

Am 14. April 1859 verliess er Morgens früh Kairo bei heiterem Himmel; nur eine leichte blassrothe Färbung am südwestlichen Horizont beunruhigte seinen Eseltreiber. Als die Gesellschaft gegen 10 Uhr Morgens den Gipfel der Pyramide erreicht hatte, war die Trübung des südwestlichen Horizonts in eine fast bis zum Zenith ausgedehnte farblose Trübung übergegangen. Der aufgewirbelte Wüstenstaub, welcher die Ebene bereits mit einem undurchsichtigen, gelben Schleier bedeckte, stieg allmählich höher und höher an der Pyramide empor. Als er auch die höchsten Stufen derselben erreicht hatte, vernahm man ein sausendes Geräusch. Als Siemens auf den höchsten Punkt der Pyramide stieg und den Zeigefinger in die Höhe hielt, liess sich ein eigenthümlich zischender Ton hören, wobei ein leises Prickeln der dem Winde entgegengesetzten Hautfläche des Fingers bemerkbar wurde.

Als Siemens weiter eine gefüllte Weinflasche, deren Kopf mit Stanniol bekleidet war, emporhielt, hörte er denselben singenden Ton, wie bei der Aufhebung des Fingers. Während dessen sprangen von der Etikette fortwährend Funken zu der die Flasche haltenden Hand über, und als Siemens den Kopf der Flasche mit der anderen Hand berührte, erhielt er eine kräftige elektrische Erschütterung, während ein glänzender elektrischer Funke vom Kopf der Flasche in die ihn berührende Hand überging.

Offenbar bildete die Flüssigkeit in der Flasche, welche durch den feuchten Kork mit der Metallbelegung des Flaschenkopfes in leitender Verbindung stand, die innere Belegung einer Leydener Flasche, während Etikette und Hand die abgeleitete äussere vertraten. Als die äussere Belegung der Flasche durch Umwickelung derselben mit angefeuchtetem Papier vervollständigt worden war, gab sie bei einer Schlagweite von 10 mm so kräftige Schläge, dass ein Araber, welcher Siemens' Hand ergriffen hatte, wie vom Blitze getroffen zu Boden fiel, als Siemens die Flasche der Nase des Arabers genähert hatte. Mit lautem Geheul

sprang dieser alsbald wieder auf, um mit mächtigen Sprüngen zu entfliehen.

Als sich Siemens auf einen aus Flaschen improvisirten Isolirschemel von der Steinmasse der Pyramide isolirte, hörte das sausende Geräusch beim Emporheben des ausgestreckten Fingers nach kurzer Zeit auf. Er konnte jetzt seinen Gefährten durch Näherung der Hand Funken ertheilen und empfand eine gelinde Erschütterung, als er den Boden berührte. Die Art der Elektricität zu bestimmen ist nicht gelungen.

Die beschriebenen Erscheinungen waren nur an der Spitze der Pyramide wahrnehmbar. Schon einige Stufen tiefer waren sie nur noch schwach und in der Ebene waren gar keine elektrischen Erscheinungen mehr zu entdecken, obgleich der Wind in ungeschwächter Weise fortblies.

Siemens erklärt die Erscheinung in folgender Weise:

„Da die elektrischen Erscheinungen erst dann bemerkbar wurden, als der Wüstenstaub die Spitze der Pyramide erreichte, so muss er auch als der Träger und wahrscheinlich auch als die Ursache der Elektricität betrachtet werden. Nimmt man an, dass die vom Winde gepeitschten Staubtheilchen und Sandkörnchen durch die Reibung mit der trockenen Oberfläche des Bodens elektrisch geworden waren, so musste jedes elektrische Körnchen eine Belegung eines Ansammlungsapparates bilden, dessen andere der Erdkörper selbst war, während die zwischen beiden befindliche Luft das die Belegungen trennende isolirende Medium vertrat. Durch die aufsteigende Bewegung der Sandkörnchen ward nun die isolirende Schicht verstärkt, die Schlagweite aller der kleinen geladenen Flaschen musste mithin zunehmen und in einer Höhe von etwa 500 Fuss über dem Boden beträchtlich grösser sein, als in seiner unmittelbaren Nähe. Der Elektricität der gewaltigen elektrisirten Staubwolke, welche über dem Erdboden lagerte, stand eine gleich grosse Quantität entgegengesetzter Elektricität der Erdoberfläche gegenüber. Die leitende Pyramide musste nun einen sehr bedeutend verdichtenden Einfluss auf die Elektricität der Erdoberfläche ausüben, da sie als kolossale Spitze zu betrachten ist. Es kann daher nicht überraschen, dass der elektrische Unterschied zwischen den auf dem Gipfel befindlichen höchsten und feinsten Spitzen, wie dem aufgehobenen Finger oder Flaschenknopf, und den Staubkörnchen so gross war, dass zahllose kleinere Funken zwischen ihnen übersprangen, während in der Ebene gar keine Elektricität wahrzunehmen war."

Aehnliche Erscheinungen sind später auch von anderen Beobachtern auf der Cheopspyramide beobachtet worden.

268 **Quelle der Luftelektricität.** Längere Zeit hindurch fand Pouillet's Meinung, dass durch Verdampfung und Vegetation Elektricität erzeugt wurde und dass hier die Quelle der Luftelektricität zu suchen sei, viele Anhänger. Reich fand zwar die Versuche bestätigt, welche Pouillet angestellt hatte, um darzuthun, dass bei Verdampfung

von Salzlösungen Elektricität entwickelt werde, allein er zeigte, dass sich Pouillet über die Quelle dieser Elektricität getäuscht habe, dass nicht die Verdampfung, sondern die Reibung der fein zertheilten Flüssigkeit gegen die Tiegelwand die Ursache der Elektricitätsentwickelung sei. Ueberhaupt erhält man jene elektrischen Ladungen nur dann, wenn die Flüssigkeit siedet. Bei allmählicher Verdampfung konnte Riess nie eine Spur von Elektricität nachweisen, und ebenso konnte Reich durch Verdampfung unter dem Siedepunkte nicht die allergeringste Elektricitätsentwickelung entdecken.

Alle Versuche, welche Reich anstellte, um eine etwaige Elektricitätsentwickelung durch Condensation von Wasserdämpfen zu entdecken, gaben negative Resultate.

Riess wiederholte auch Pouillet's Versuche über die Elektricitätsentwickelung durch den Vegetationsprocess; er fand zwar Spuren von Elektricität, aber bald war dieselbe positiv, bald negativ, und einige Controlversuche, die in gleicher Weise mit unbesäeter Erde angestellt wurden, machen es höchst wahrscheinlich, dass jene Spuren nicht von der Vegetation herrühren.

Kurz, aus allen Versuchen von Riess und Reich geht hervor, dass die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetationsprocess die Ursache der Luftelektricität seien, durchaus nicht experimentell begründet ist.

So war denn der einzige Anhaltspunkt, den man zur Erklärung der atmosphärischen Elektricität glaubte gewonnen zu haben, wieder verloren.

Eine andere Ansicht über den Ursprung der Elektricität, welche die in diesem Capitel besprochenen Erscheinungen bewirkt, hat Erman im Jahre 1803 ausgesprochen. Dieselbe ist im Wesentlichen wieder von Peltier aufgenommen und weiter entwickelt, und von Lamont, welcher sich ihr anschliesst, ungefähr in folgender Weise erklärt:

Die Erde besitzt eine gewisse Menge negativer Elektricität, welche sich gleichbleibt, deren Vertheilung aber veränderlich ist. Diese Elektricität nennt Lamont die permanente Elektricität der Erde, zum Unterschied von der inducirten, die in jedem isolirten Körper, er mag permanent elektrisch sein oder nicht, durch einen genäherten elektrischen Körper hervorgerufen wird. Die Atmosphäre, d. h. die reine Luft, hat gar keine Elektricität; sie ist unfähig, die Elektricität zu leiten oder zu behalten.

Wäre die Erde eine Kugel mit vollkommen glatter, gleichförmiger Oberfläche, so würden alle Punkte dieser Oberfläche gleich starke elektrische Spannungen zeigen. Diese Gleichheit wird aber durch zwei Umstände gestört, durch die Erhöhungen auf der Erdoberfläche und durch die Dünste, welche in der Atmosphäre schweben.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass das elektrische Fluidum sich vorzugsweise in Spitzen und Kanten ansammelt, und dadurch erklärt es

sich denn leicht, dass auf Hausdächern, Kirchthürmen, Bergspitzen etc. die Elektricität in grösserer Menge angehäuft ist, dass überhaupt die Ladung der Sammelapparate um so stärker wird, je höher man sie über den Boden erhebt.

Die zweite der oben erwähnten Ursachen, welche eine ungleiche Vertheilung der Elektricität auf der Erdoberfläche zur Folge haben, ist der in der Atmosphäre befindliche Wasserdampf, und zwar haben wir hier zweierlei Fälle zu unterscheiden. Entweder ist die Dunstmasse mit der Erde in Berührung oder sie ist isolirt. Im ersteren Falle tritt dasselbe Verhältniss ein, wie auf einem Berge; die Elektricität verlässt denjenigen Theil der Erdoberfläche, der mit der Dunstmasse in Berührung steht, und begiebt sich auf die Oberfläche der Dunstmasse. Im zweiten Falle muss man in Betracht ziehen, dass jeder Körper latente Elektricität in unbestimmten Mengen enthält, die bei Annäherung eines anderen elektrischen Körpers nach den bekannten Gesetzen frei wird, und so kommt es, dass isolirt in der Luft schwebende Wolken durch die von der Erde ausgehende vertheilende Wirkung bald positiv, bald negativ elektrisch werden.

Durch diese Hypothese finden nun alle oben beschriebenen Ladungserscheinungen an Elektrometern eine ebenso einfache und leichte Erklärung, wie durch die Annahme, dass die Luft elektrisch sei.

Auf ein mit der Spitze versehenes Elektrometer wirkt bei heiterem Himmel die negative Erdelektricität in der Weise vertheilend, dass die positive Elektricität des isolirten Systems in die Pendel herabgezogen, die negative aber in die Spitze getrieben wird, wo sie ausströmt.

In eine Kugel, welche, wie bei der Lamont'schen und Dellmann'schen Methode, mit dem Boden in leitende Verbindung gebracht wird, muss natürlich negative Elektricität einströmen.

Nimmt man die Beobachtung bei bedecktem Himmel nach länger anhaltendem Regen vor, wo die Luft mit Dünsten gesättigt ist, also die Wolken mit der Erde in leitender Verbindung stehen, so zeigt das Elektrometer gar keine Spannung an. In diesem Falle hat sich die Elektricität an die obere Grenze der Wolken hinaufgezogen und der Beobachter befindet sich im Inneren des elektrisirten Körpers, wo natürlich ebenso wenig wie in einem Zimmer eine elektrische Spannung vorhanden sein kann.

Wenn isolirt von dem Boden elektrische Wolken in der Luft schweben, so werden sie vertheilend auf die Erdoberfläche zurückwirken. Eine negativ elektrische Wolke schwächt die permanente Elektricität der Erdoberfläche, und kann, wenn sie stark genug geladen ist, sogar eine Anhäufung positiver Elektricität an denjenigen Orten der Erdoberfläche bewirken, über welchen sie gerade schwebt. Eine positiv elektrische Wolke dagegen wird durch Vertheilung die permanente negative Elektricität verstärken.

Wir haben in den vorhergehenden Betrachtungen stets eine positive und eine negative Elektricität unterschieden. Nach neueren Anschauungen existirt dagegen nur ein einziges elektrisches Agens, und die elektrischen Erscheinungen entstehen nur durch Störungen in dem Gleichgewichte der elektrischen Vertheilung. In welcher Weise auf Grund dieser unitarischen Ansicht die Erscheinungen der atmosphärischen Elektricität erklärt werden, können wir hier nicht auseinandersetzen, und müssen wir auf das Lehrb. d. Physik, 9. Aufl., 3. Band, §. 50 bis 54, 66 und 93 verweisen.

Elektricität der Gewitterwolken. Wenn man die Elektricität untersucht, welche sich während eines Gewitters in dem ersten Conductor *h* des Apparates Fig. 390, S. 776, oder eines ähnlichen ansammelt und zum Funkenzieher überspringt, so findet man, dass es bald positive, bald negative Elektricität ist, dass also die Gewitterwolken bald mit positiver, bald mit negativer Elektricität geladen sind. Crosse beschreibt die Beobachtungen und Versuche, welche er an seinem Apparate während des Verlaufs von Gewittern angestellt hat, ungefähr in folgender Weise: 269

Wenn sich eine Gewitterwolke den Saugspitzen des Sammelapparates nähert, so divergiren die am ersten Conductor aufgehängten Hollundermarkpendel entweder mit positiver oder mit negativer Elektricität; und wenn die Grenze der Wolke vertical über den Saugspitzen angelangt ist, so schlagen langsam Funken zwischen dem ersten Conductor und dem Funkenzieher über. Nach einiger Zeit, während welcher etwa neun bis zehn Funken in der Minute überschlagen, folgt eine kurze Pause, auf welche dann das Ueberschlagen der Funken von Neuem beginnt, aber nun mit entgegengesetzter Elektricität, so dass, wenn Anfangs negative Elektricität aus dem ersten Conductor hervorbrach, nun eine Reihe positiver Entladungen folgt, was anzeigt, dass zwei entgegengesetzte elektrische Zonen der Wolke über den Beobachtungsort hinweggezogen sind. Auf das erste folgt ein zweites Zonenpaar, welches schon ein häufigeres Ueberschlagen von Funken bewirkt als das erste. So dauert dann der Wechsel der Elektricitäten eine Zeitlang fort, indem jeder Uebergang in die entgegengesetzte Elektricität durch eine kurze Pause markirt wird; aber immer rascher schlagen die Funken über, bis sie endlich einen regelmässigen Feuerstrom bilden, wenn die Mitte der Gewitterwolke im Zenith steht und das Gewitter in seiner vollen Heftigkeit wüthet. Crosse verband während eines Gewitters mit dem ersten Conductor seiner Vorrichtung eine elektrische Batterie von 75 Quadratfuss innerer Belegung. Bei voller Ladung konnte mit dieser Batterie ein 30 Fuss langer Eisendraht von $^1/_{270}$ Zoll Durchmesser geschmolzen werden. Um die Batterie zu schonen, näherte Crosse eine mit der äusseren Belegung in Verbindung stehende Messingkugel der Kugel der inneren Belegung so weit, dass eine Selbstentladung erfolgte, wenn die Batterie ungefähr $^3/_4$ ihrer

vollen Ladung enthielt. Unter diesen Umständen fand ein fast continuirlicher Strom von Entladungen statt, wenn gerade die Mitte der Gewitterwolke über dem Beobachtungslocale hinzog.

Der Wechsel der Elektricitäten dauert fort, während die zweite Hälfte der Wolke vorüberzieht; allmählich aber nimmt die Intensität ab, wie sie vorher zugenommen hatte.

Eine Gewitterwolke ist also nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach mit derselben Elektricität geladen, sondern sie besteht aus Zonen, welche abwechselnd mit entgegengesetzten Elektricitäten geladen sind, und zwar ist diese Ladung für die Mitte der Wolke am stärksten und nimmt dann nach den Grenzen hin ab.

Ueber die Ursachen der Gewitterbildungen sind mancherlei Ansichten geäussert worden, doch genügt, wie in dem Lehrb. der Physik, 9. Aufl., 3. Bd., §. 94 gezeigt ist, das Aufsteigen leitender Dunstmassen von der Oberfläche der Erde und die in der Höhe stattfindende Condensation der Wassertropfen für das Auftreten ausserordentlich grosser Potentialdifferenzen, welche das Entstehen elektrischer Funken von mehreren Kilometern Länge erklärlich machen. Sohncke sucht die Ursache der Gewitterelektricität in Reibungen zwischen Eis- und Wassertheilen, wobei die Eiskrystalle positiv elektrisch werden und in der Höhe schweben bleiben, während die negativ elektrischen Wassertheile sich herabbewegen. Es ist immerhin möglich, dass diese Ursache ebenfalls bisweilen zur Gewitterbildung beiträgt.

270 **Die Blitzableiter.** Franklin's praktischer Geist wandte alsbald seine an elektrischen Drachen gemachten Erfahrungen auf die Construction der Blitzableiter an. Im Wesentlichen bestehen dieselben aus einer zugespitzten Metallstange, welche in die Luft hineinragt, und einem guten Leiter, welcher die Stange mit dem Boden verbindet. Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, wenn sie ihrem Zweck entsprechen sollen:

1. die Stange muss in eine feine Spitze zulaufen;

2. die Verbindung mit dem Boden muss vollkommen leitend sein; von der Spitze bis zum unteren Ende der Leitung darf keine Unterbrechung stattfinden.

Wenn eine Gewitterwolke über dem Blitzableiter schwebt, so werden die verbundenen Elektricitäten des Stabes und der Leitung zerlegt; diejenige Elektricität wird abgestossen, welche mit der Wolke gleichnamig ist, und sie kann sich frei im Boden verbreiten, die entgegengesetzte Elektricität aber wird nach der Spitze gezogen, wo sie frei in die Luft ausströmen kann; auf diese Weise ist keine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter möglich. Während so der Blitzableiter in Thätigkeit ist, während ihn die entgegengesetzten Elektricitäten in entgegengesetzter Richtung durchströmen, kann man sich ihm ohne Gefahr nähern und

ihn berühren; denn wo keine elektrische Spannung vorhanden ist, ist auch kein Schlag zu befürchten.

Nehmen wir nun an, eine der oben genannten Bedingungen sei nicht erfüllt, die Spitze sei stumpf, die Leitung zum Boden sei unvollkommen oder unterbrochen, so ist klar, dass eine Anhäufung von Elektricität im Blitzableiter nicht allein möglich, sondern auch, dass sie unvermeidlich ist; er bildet dann einen geladenen Conductor, in welchem eine ungeheure Menge von Elektricität angehäuft sein kann; man kann bald schwächere, bald stärkere Funken aus ihm ziehen.

Wenn die Spitze stumpf ist, so kann der Blitz leichter einschlagen, allein er wird der Leitung folgen, ohne dem Gebäude zu schaden.

Wenn die Leitung unterbrochen oder die Verbindung mit dem Boden unvollkommen ist, so kann der Blitz ebenfalls einschlagen, er wird sich aber unter Umständen auch seitwärts auf andere Leiter verbreiten und eben solche Zerstörungen anrichten, als ob gar kein Blitzableiter vorhanden gewesen wäre.

Noch mehr: ein Blitzableiter, welcher diesen Fehler hat, ist sehr gefährlich, selbst wenn der Blitz nicht einschlägt; denn wenn an irgend einer Stelle der Leitung die Elektricität hinlänglich angehäuft ist, so kann ein Funken seitwärts überschlagen, welcher nahe Gegenstände zertrümmern oder entzünden kann. Man kann dafür ein trauriges Beispiel anführen. Richmann, Professor der Physik in Petersburg, wurde von einem Funken plötzlich getödtet, welcher dem Blitzableiter entfuhr, der in sein Haus heruntergeleitet war und dessen Leitung er unterbrochen hatte, um die Elektricität der Wolken zu untersuchen. Sokolow, Kupferstecher der Akademie, sah, wie der Funken Richmann auf die Stirne traf.

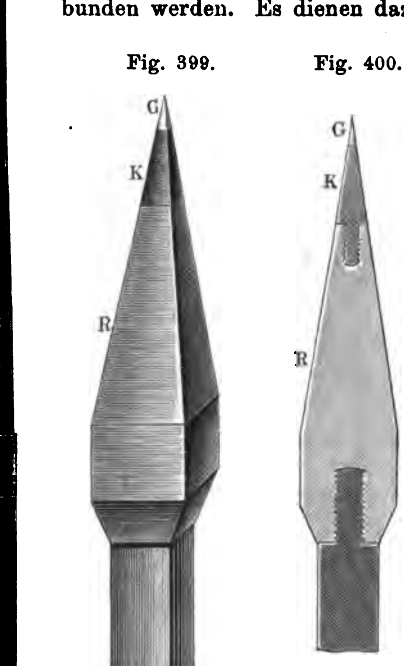
Nachdem wir gesehen haben, welche Bedingungen erfüllt sein müssen, wenn ein Blitzableiter wirksam sein soll, und welche Gefahren daraus entspringen, wenn man sie vernachlässigt, bleibt noch Einiges über die praktische Ausführung der Blitzableiter zu sagen übrig. Gay-Lussac hat unter Auspicien der Akademie der Wissenschaften eine treffliche Instruction über diesen Gegenstand verfasst. Nach dieser soll die Spitze des Blitzableiters die Fig. 398 (a. f. S.) dargestellte Einrichtung haben. Auf einer 8,6 m langen Eisenstange ist ein 0,6 m langer, etwas konischer Messingstab eingeschraubt und dann noch mit einem Querstift befestigt. Oben ist in diesem Messingstab eine Platinnadel von 0,05 m Länge mit Silber eingelöthet und die Verbindungsstelle mit einer Hülse von Messing umgeben.

In Deutschland macht man gewöhnlich auch die Spitze der Blitzableiter von Eisen, vergoldet sie aber, um zu verhindern, dass sie rostet und dadurch abgestumpft wird.

Aus Spitzen von Platin und Eisen kann aber die Elektricität nur mangelhaft ausströmen, weil diese Metalle schlechte Elektricitätsleiter sind. Hagenbach hat deshalb, um diesen Uebelstand zu verbessern, die

Spitzen der Blitzableiter so construirt, wie es Fig. 399 in perspectivischer Ansicht und Fig. 400 im Durchschnitt in $^1/_2$ der natürlichen Grösse zeigt. Die Spitze hat nicht die Form eines Kegels, sondern die einer vierseitigen Pyramide, was den Vortheil bietet, dass die Elektricität auch aus den Kanten ausströmen kann. Die Spitze *G* ist von Gold; sie ist auf eine abgestumpfte Pyramide *K* von Kupfer aufgelöthet und diese ist wieder in eine abgestumpfte Pyramide *R* von Messing eingeschraubt. Die ganze, aus den Stücken *R*, *K* und *G* bestehende Pyramide ist vergoldet.

Fig. 398. Fig. 399. Fig. 400.



Die Stange des Blitzableiters, welche in verschiedener Weise auf dem Gebäude befestigt werden kann, muss nun mit dem feuchten Boden durch eine metallische Leitung verbunden werden. Es dienen dazu gewöhnlich eiserne Stangen oder starke Kupferdrähte. Wenn irgend ein Brunnen in der Nähe ist, welcher nicht austrocknet, oder wenn man ein Loch bis zur Tiefe bohren kann, in welcher sich beständig Wasser findet, so reicht es hin, die Stange hineinzuleiten, indem man sie in mehrere Arme theilt. Um die Berührungspunkte zu vermehren, führt man die Stange durch Windungen zu dem Brunnen oder dem Bohrloche, welche man dann mit Holzkohlen ausfüllt. Dies gewährt den doppelten Vortheil, dass auf diese Weise das Eisen besser vor Rost geschützt wird, und dass es mit einem guten Leiter, der Kohle, in Berührung ist.

Wenn man kein Wasser in der Nähe hat, muss man die Stange wenigstens durch einen langen Canal, der mit Kohlen ausgefüllt wird, an einen feuchten Ort leiten. Der grösseren Sicherheit wegen kann man die Leitstange auch noch in Seitencanäle verzweigen.

Die Wirksamkeit des Blitzableiters ist jedoch noch an einige andere Bedingungen geknüpft. Wenn er von anderen in der Nähe befindlichen Gegenständen überragt wird, so kann die Elektricität der Wolke auf diese stärker wirken als auf den Blitzableiter, der Blitzableiter kann sie

also nicht vor dem Blitzschlag schützen; ebenso wenn bedeutende Metallmassen, etwa eiserne Stangen oder eine metallische Dachbedeckung, sich in der Nähe des Blitzableiters befinden, ohne mit demselben in leitender Verbindung zu sein. Wenn solche Metallmassen vorhanden sind, muss man sie möglichst gut in leitende Verbindung mit dem Blitzableiter bringen, damit die angezogene Elektricität ungehindert durch die Spitze ausströmen kann. Es ist demnach gefährlich, die metallene Dachbedeckung von dem Blitzableiter zu isoliren, wie dies einige Praktiker vorgeschlagen haben.

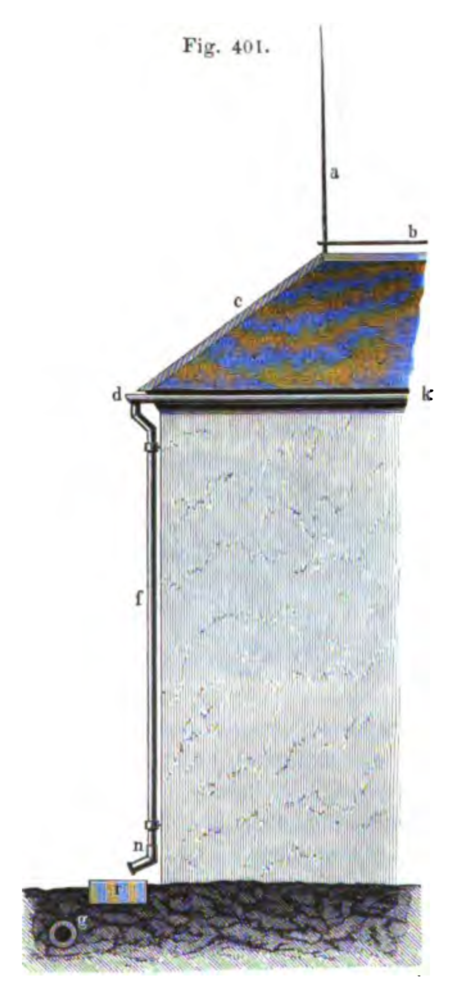


Fig. 401.

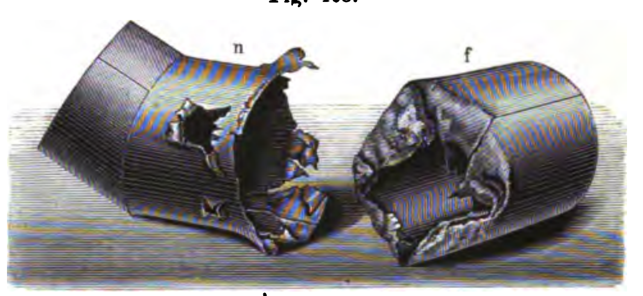
Wie nachtheilig es ist, einigermaassen bedeutende Metallmassen in der Nähe des Blitzableiters isolirt zu lassen, geht aus folgendem Beispiel hervor. Am Abend des 26. Juli 1870 entlud sich ein heftiges Gewitter über Freiburg, im Verlauf dessen der Blitz ein grosses, dreistöckiges, isolirt stehendes Haus traf, welches mit einem Blitzableiter versehen ist. Fig. 401 mag dazu dienen, die Verhältnisse verständlich zu machen. An jedem Ende der Dachfirst steht eine Auffangstange, von denen in unserer Figur nur die eine, *a*, dargestellt ist; *b* ist ein Stück der horizontalen Leitung, welche die beiden Auffangstangen verbindet. Von der Mitte der Leitungsstange *b* geht dann die Ableitung in gehöriger Weise bis zu hinlänglicher Tiefe in den Boden herab. Die Dachfirst sowie die vier Seitenkanten des Daches, von denen unsere Figur nur eine, *c*, zeigt, sind mit Streifen von Zinkblech gedeckt, welche mit den Auffangstangen in leitender Verbindung stehen. Dies ist aber nicht der Fall bei der rings um das Haus laufenden Dachrinne, von welcher in unserer Figur ein Stück *dk* dargestellt ist. Um diese Dachrinne ist

Fig. 402.

a b

die zum Boden führende Leitung in einem Abstand von ungefähr 30 cm herumgeführt. Von der Dachrinne gehen in allem acht verticale Röhren von Zinkblech herab, von denen in unserer Figur nur die eine, *f*, nahe an der östlichen Ecke des Hauses angebrachte zu sehen ist. Dieses Röhrensystem bildet eine Metallmasse von ziemlich bedeutender Oberfläche, welche, wie gesagt, mit dem Blitzableiter nicht leitend verbunden war, wie es doch hätte sein sollen. Durch die vertheilende Wirkung der Gewitterwolken musste eine namhafte Anhäufung der von ihnen angezogenen Elektricität in den oberen Partien der Röhrenleitung stattfinden, welche eine Entladung bei *d* herbeiführte. Der Blitz folgte nun der verticalen Röhre *f*, welche bis zu dem untersten Stück, welches nicht angelöthet, sondern nur angesteckt war, unversehrt blieb. Das untere Ende von *f*, welches in das Kniestück *n* einfach eingesteckt war, wurde aber gewaltsam nach Innen umgebogen, wie man in *f*, Fig. 403, sieht,

Fig. 403.



während das obere Ende des Kniestückes *n* zerrissen und durchlöchert wurde, wie *n* in Fig. 403 zeigt. Von der Mündung des Kniestückes *n*, Fig. 401, schlug der Blitz über den Rinnstein *r*, den er zerriss, zu der ganz nahe beim Hause vorüberlaufenden, ungefähr 2 Zoll dicken Gasleitungsröhre *g* über, welche an zwei, etwas über 1 Fuss von einander entfernten Stellen zerbrochen wurde, wie Fig. 402 erläutert.

Um in Fällen der eben besprochenen Art den Blitzableiter gehörig zu vervollständigen, muss 1) das untere Ende eines jeden die Dachkanten deckenden Blechstreifens *c* durch einen Streifen Kupferblech oder einen dicken Kupferdraht mit dem nächsten Theile *d* der Dachrinne und 2) die unteren Enden der verticalen Röhren *f* unter sich und mit der Hauptableitstange durch einen dicken Kupferdraht verbunden werden. Statt des letzteren kann man auch das untere Ende *n* einer jeden verticalen Blechröhre durch einen Kupferdraht mit einer in den feuchten Boden gegrabenen Kupferplatte verbinden.

Wenn die Bedeckung der Dachkanten bei *c* nicht durch Blechstreifen, sondern durch Hohlziegel bewerkstelligt ist, bedarf es kaum einer weiteren leitenden Verbindung zwischen den Dachrinnen und dem Blitzableiter; ist aber zur Bedeckung der Dachkanten Metallblech verwendet, so ist die

metallische Verbindung zwischen *c* und *d*, sowie zwischen *n* und dem feuchten Boden sehr zu empfehlen, selbst wenn auf dem Hause keine Saugstange oder überhaupt kein Blitzableiter angebracht ist.

Um eine im Boden liegende metallene Röhrenleitung, welche in der Nähe der Bodenleitung eines Blitzableiters vorbeiläuft, vor Blitzschlägen zu schützen, ist nichts besser, als sie mit dieser Bodenleitung in möglichst gut leitende Verbindung zu bringen.

Die Erfahrung zeigt, dass ein mit allen Vorsichtsmaassregeln angelegter Blitzableiter von den angegebenen Dimensionen einen Umkreis von ungefähr 20 m Radius schützt.

In England nimmt man als Radius des geschützten Kreises die Höhe der Spitze über dem Boden an.

Genaueres über den Schutzkreis des Blitzableiters s. im Lehrbuch der Physik, 9. Aufl., 3. Bd., §. 96.

Galvanische Prüfung der Blitzableiter. Da bei einem 271
guten Blitzableiter nothwendig von der Spitze bis zum Boden eine vollkommen metallische Leitung stattfinden muss, so ist es wichtig, sich auf eine einfache Weise davon überzeugen zu können, dass diese Bedingung wirklich erfüllt ist; ein zweckmässiges Mittel zu einer solchen Prüfung liefert uns nun der galvanische Strom. Befestigt man an der Spitze des Blitzableiters einen mit Seide übersponnenen Kupferdraht, welcher bis zum Boden herunter reicht; verbindet man dann sein unteres Ende mit dem einen Pol eines einfachen galvanischen Plattenpaares, während vom anderen Pole desselben ein Leitungsdraht zum unteren Ende des Blitzableiters führt, so muss ein galvanischer Strom die ganze Kette durchlaufen, welchen man erkennt, wenn man ein Galvanometer in diesen Schliessungsbogen einschaltet.

Zur galvanischen Prüfung eines Blitzableiters gehören also:

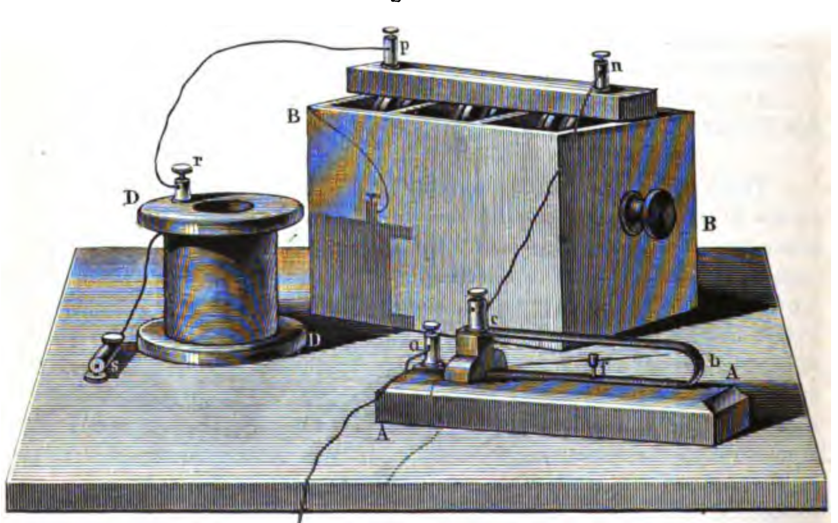
1. ein Galvanometer,
2. eine galvanische Säule,
3. ein Leitungsdraht.

Ein gewöhnliches Galvanometer mit astatischem, an einem Coconfaden hängenden Nadelpaare dürfte zu unserem Zwecke wohl zu zerbrechlich sein und ausserdem ist es auch zu empfindlich; zur galvanischen Prüfung der Blitzableiter genügt eine einfache, auf einer Stahlspitze spielende Magnetnadel, um welche der Strom durch einen Kupferstreifen herumgeleitet wird. In Fig. 404 (a. f. S.) ist eine solche Vorrichtung bei *A* in $^1/_3$ der natürlichen Grösse dargestellt. Auf einem Brettchen ist ein ungefähr 1 cm breiter Kupferstreifen befestigt, welcher bei *b* so gebogen ist, dass er zwei horizontale Arme *ab* und *bc* bildet, von denen der untere etwas länger ist. Bei *c* sind die beiden Enden durch ein Holzklötzchen getrennt. Bei *f* ist auf dem unteren Arme des Kupferstreifens eine Stahlspitze eingelassen, auf welcher die Magnetnadel spielt. Bei *a*

und *c* sind Klemmschrauben angebracht, in welche die Zuleitungsdrähte eingeschraubt werden.

Als Elektromotoren könnte man Bunsen'sche oder Daniell'sche Becher anwenden; allein für solche, welche weniger mit der Handhabung dieser Apparate vertraut sind, ist doch eine Wollaston'sche Säule von etwa sechs Plattenpaaren vorzuziehen, die an einem gemeinschaftlichen Brette befestigt, in einen rechteckigen Trog *BB* eingesenkt werden können, welcher keine Scheidewände zu enthalten braucht und welcher

Fig. 404.



eine Mischung von 1 Thl. Schwefelsäure auf 20 bis 30 Thle. Wasser enthält. An den beiden Polen dieser Säule sind die Klemmschrauben *p* und *n* aufgesetzt.

Der kupferne Leitungsdraht von 30 bis 50 m Länge und $^1/_3$ bis $^1/_2$ mm Dicke ist mit Seide oder Wolle übersponnen und wird des bequemeren Gebrauchs wegen auf eine hölzerne Spule *D* aufgewickelt, an welcher sein inneres Ende befestigt und mit einer Klemmschraube *r* versehen ist. An dem anderen Ende des Drahtes ist dann gleichfalls eine Klemmschraube *s* angelöthet.

Um den Versuch anzustellen, werden die besprochenen Apparate, wie unsere Figur zeigt, auf einen Tisch zusammengestellt, welcher in der Nähe der Stelle steht, wo der Blitzableiter in den Boden eintritt. Das Galvanometer wird so gerichtet, dass die Arme *ab* und *bc* der Kupferleitung in der Ebene des magnetischen Meridians liegen, dass also die Magnetnadel mit der Längsrichtung dieser Streifen parallel ist und also weder zur Linken noch zur Rechten hervorschaut. Ist das Galvanometer so aufgestellt, so wird bei *a* ein kupferner Leitungsdraht ein-

geschraubt, welcher, einige Meter lang, zum unteren Ende des Blitzableiters geführt und da mehrere Male um die eiserne Stange desselben, etwa 1 m hoch über dem Boden, herumgewunden wird.

Damit zwischen den Leitungsstangen des Blitzableiters und dem darum gewundenen Kupferdraht metallische Berührung bestehe, muss man die eiserne Stange zuvor etwas anfeilen.

Nun ist der längere, auf die Holzspule aufgewundene Kupferdraht in ähnlicher Weise an der Saugstange des Blitzableiters zu befestigen. Zu diesem Zwecke steigt der Dachdecker hinauf, feilt die Stange etwas an und windet um die angefeilte Stelle einen etwa 1 m langen Kupferdraht mehrmals herum; alsdann wirft er eine Schnur herab, welche an dem freien Ende *s* des auf der Spule aufgewundenen Kupferdrahtes angebunden wird und vermittelst deren er dieses Drahtende in die Höhe zieht, während sich unten der Draht von der Spule abwickelt. Ist die Schraubklemme *s* oben angekommen, so befestigt der Dachdecker in derselben das freie Ende des Drahtes, welchen er um die Saugstange herumgewunden hat, während man unten die Spule mit dem Rest des Drahtes auf den Tisch stellt. Ist dies geschehen, so wird ein kurzer Leitungsdraht einerseits in die Klemmschraube *r* der Spule, und anderseits in die Klemmschraube *p* eingeschraubt, welche den einen Pol der Wollaston'schen Säule bildet. Um die Kette zu schliessen, hat man jetzt nur noch nöthig, zwischen den Klemmschrauben *n* der Säule und *c* des Galvanometers einen kurzen Draht einzuschalten. Sobald dies geschehen ist, circulirt der Strom; er geht von dem einen Pol der Säule durch den langen Leitungsdraht hinauf zur Saugstange, von dieser durch die Leitung des Blitzableiters herab und von dem unteren Ende dieser Leitung durch das Galvanometer zum anderen Pol der Säule zurück.

Ist die Leitung ununterbrochen, so dass der Strom wirklich in der angegebenen Weise circuliren kann, so wird augenblicklich die Magnetnadel abgelenkt und aus der Ebene des Kupferbügels *abc* hervortreten; ist jedoch die Leitung unterbrochen, so bleibt die Magnetnadel unbeweglich.

Zeigt sich auf diese Weise eine Unterbrechung der Leitung, so wird der längere Leitungsdraht nach und nach an verschiedenen Stellen der Blitzableiterleitung befestigt, um so die Strecke ausfindig zu machen, auf welcher sich die Unterbrechung befindet.

Wirkungen der Gewitter auf elektrische Telegraphen. 272

Auf die Drahtleitungen eines elektrischen Telegraphen muss die Luftelektricität sowohl, wie die Elektricität der Gewitterwolken in ähnlicher Weise wirken wie auf Blitzableiter; die telegraphischen Leitungsdrähte werden also unter dem angedeuteten Einflusse stets von mehr oder weniger starken Strömen durchlaufen werden.

Um solche Ströme sichtbar zu machen, schaltete Baumgartner einen empfindlichen Multiplicator in eine Telegraphenleitung ein, und

fand, dass die Nadel desselben fast nie zur Ruhe kommt, dass also die Leitungsdrähte unter dem Einflusse der Luftelektricität fast beständig elektrisch durchströmt sind.

Unter dem Einflusse von Gewitterwolken werden die in den Telegraphendrähten circulirenden Ströme stark genug, um die zeichengebenden Apparate in Bewegung zu setzen, also Signalglocken läuten zu lassen, den Schreibapparat Morse'scher Apparate klappern zu machen u. s. w. Begreiflicher Weise sind aber diese Zeichen so unregelmässig, dass der Telegraphist alsbald ihren Ursprung erkennt. Wenn aber auch die Effecte solcher durch Gewitterwolken inducirten Ströme nicht mit telegraphischen Signalen verwechselt werden können, so wirken sie doch im höchsten Grade störend auf letztere ein, und können ein regelmässiges Telegraphiren oft geradezu unmöglich machen.

Die durch Gewitterwolken in den Telegraphendrähten inducirte Elektricität kann aber unter Umständen auch eine solche Intensität erlangen, dass sie unter lautem Knall, welcher bald dem Knalle einer Peitsche, bald einem Pistolenschuss verglichen ist, zwischen einzelnen Theilen der Apparate in Gestalt kräftiger Funken überspringt. Solche Entladungen, welche namentlich auch dann stattfinden, wenn der Blitz direct in die Leitungsdrähte des Telegraphen einschlägt und durch dieselben bis in ein Telegraphenbureau geleitet wird, können nicht allein die Apparate mehr oder weniger stark beschädigen, sondern auch für die gerade anwesenden Beamten gefährlich werden.

Am 19. Juni 1846 schlugen in Philadelphia zwischen dem Leitungsdrahte, welcher von Aussen in das Haus hineingeführt war und demjenigen Drahte, welcher dazu diente, den Apparat mit der Bodenplatte in leitende Verbindung zu setzen, und welcher an einer Stelle zufällig dem ersteren bis auf weniger als 1 Zoll genähert war, unter dem Einflusse eines benachbarten Gewitters lebhafte Funken über, welche endlich so stark wurden, dass der Aufseher, für die Sicherheit des Hauses besorgt, den einen Draht mit den städtischen Gasröhren in Verbindung setzte, um so die durch die Gewitterwolken inducirte Elektricität in den Boden abzuleiten.

Am 17. August 1847 pflanzte sich die Wirkung eines zu Olmütz losgebrochenen Gewitters bis nach Triebitz, 10 Meilen weit fort, und ein an letzterem Orte mit der Drahtspannung beschäftigter Arbeiter erhielt einen so starken Schlag, dass er einige Schritte zurücktaumelte.

Sehr häufig werden durch den Blitz die Tragsäulen der Leitungsdrähte zersplittert, die Leitungsdrähte selbst zerrissen, und dünnere Drähte der telegraphischen Apparate durch die übermächtigen Ströme geschmolzen, wodurch dann natürlich die Leitungen unterbrochen und die Apparate untauglich werden.

Eine interessante Zusammenstellung hierher gehöriger Erscheinungen findet man in der 3. Auflage von Schellen's „elektromagnetischem Telegraph“ (Braunschweig 1861) Seite 334 u. f.

Um die elektrischen Telegraphen vor den Unfällen zu schützen, durch welche sie von Gewittern bedroht sind, hat man besondere telegraphische Blitzableiter construirt. Steinheil, von welchem die erste derartige Vorrichtung herrührt, benutzte den Umstand, dass die von Gewittern inducirte Elektricität leichter kleine Zwischenräume überspringt, als den langen Weg dünner Drahtwindungen durchläuft, wie dies unter anderem ja auch aus der oben mitgetheilten zu Philadelphia beobachteten Erscheinung hervorgeht.

Das Princip der Steinheil'schen Schutzapparate, welches mit mannigfachen Modificationen fast allgemeine Anwendung gefunden hat, wird

Fig. 405. Fig. 406.

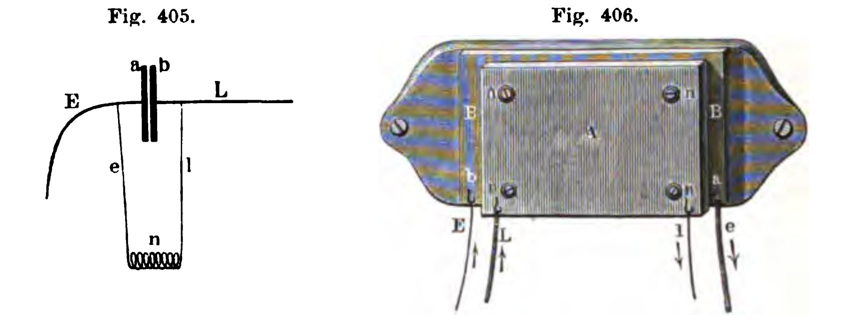
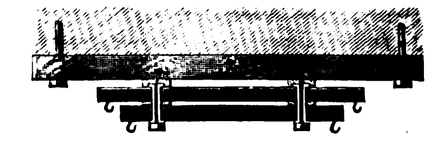


Fig. 407.



durch die schematische Fig. 405 erläutert. Es sei L der von der nächsten Station kommende Leitungsdraht, E der Leitungsdraht, welcher zur Bodenplatte führt; der eine dieser Drähte endet mit einer Metallplatte a, der andere in der Metallplatte b, und diese beiden Platten sind in paralleler Stellung einander ganz nahe gegenübergestellt, ohne sich jedoch metallisch zu berühren. Bei den Steinheil'schen Blitzableitern wird die Isolation der beiden Platten durch ein zwischengelegtes Stück Seidenzeug bewerkstelligt. — Die Leitungsdrähte E und L sind durch die Drahtleitungen e und l mit dem zeichengebenden Apparat n in leitende Verbindung gebracht.

Während nun der Strom einer galvanischen Batterie, welcher von der benachbarten Station kommt, den Zwischenraum zwischen den Platten a und b nicht überspringen kann, sondern die Windungen des zeichengebenden Apparates regelmässig durchläuft, springt umgekehrt die durch Gewitter inducirte Elektricität zwischen den Platten a und b über, ohne zu den Windungen des zeichengebenden Apparates n zu gelangen.

In Fig. 406 (a. v. S.) sind die Meissner'schen Blitzplatten ungefähr in $^1/_{10}$ der natürlichen Grösse in perspectivischer Ansicht, in Fig. 407 sind sie im Grundriss dargestellt. Der Abstand der beiden Messingplatten A und B, deren Berührung durch vier dünne Elfenbeinplättchen verhindert wird, beträgt nahezu 0,3 mm. Die ganze Vorrichtung ist an der Wand des Telegraphenbureaus befestigt. Die Zuleitungsdrähte L, E, l und e der Fig. 406 entsprechen den gleich bezeichneten Drähten der schematischen Fig. 405.

273 **Geographische Verbreitung der Gewitter.** Obgleich so dieser Beziehung das Beobachtungsmaterial noch sehr mangelhaft ist, so unterliegt es doch keinem Zweifel, dass die Gewitter in der heissen Zone im Allgemeinen nicht allein heftiger, sondern auch häufiger sind als in der gemässigten, wie man dies auch aus folgender Tabelle ersieht, welche nach dem in Arago's Abhandlung zusammengetragenen Material zusammengestellt ist.

Beobachtungsort	Durchschnittszahl der Gewitter in einem Jahre	Zahl der Beobachtungsjahre	Kleinste	Grösste
			Zahl der Gewitter in einem Jahre	
Buitenzorg (Java)	159	17		
Calcutta	60	1		
Rio Janeiro	50,7	6	38	77
Martinique	39			
Abyssinien	38	1		
Guadeloupe	37			
Bern	27	16		
Buenos-Ayres	22,6	7		
Smyrna	19	1		
Berlin	18,4	15	11	30
Padua	17,5	4		
Strassburg	17	20	6	21
Mastricht	16,2	11	8	27
Tübingen	14	9		
Paris	13,8	51	6	25
Leiden	13,5	29	5	17
Athen	11	3	7	18
Petersburg	9,2	11		
London	8,5	13	5	13
Peking	5,8	6	3	14
Cairo	3,5	2	3	4

In Hamburg giebt es durchschnittlich 21, in München 28 Gewitter im Jahre.

Nach Fritz ist im Mittel die Zahl der Gewitter in verschiedenen Breiten folgende:

Breite	Jährliche Gewitter
0° bis 30°	55
30 „ 50	25
50 „ 60	12
60 „ 70	3
über 70	0

Jedenfalls steht die Häufigkeit und Heftigkeit der Gewitter in enger Beziehung zu der Massenhaftigkeit der Regengüsse überhaupt. In der Region der Calmen unter dem ungeheuren, dichten Wolkenring, welcher schon von fern den aufsteigenden äquatorialen Luftstrom anzeigt, ist deshalb das Rollen des Donners eine fast tägliche Erscheinung. Nach d'Abbadie kommen in Hochabyssinien durchschnittlich 411 Gewitter auf das Jahr. Aber selbst in der heissen Zone fehlen Gewitter, wo der Regen fehlt. In Unter-Peru giebt es keine Gewitter und die Bewohner von Lima kennen weder Donner noch Blitz. In Aegypten gehören die Gewitter zu den Seltenheiten.

Ueber die gemässigte Zone hinaus werden die Gewitter immer seltener, je mehr man sich den Polen nähert. Auf seinen zahlreichen Reisen nach den Polarmeeren beobachtete Scoresby über den 65. Grad n. B. hinaus nur zweimal Donner und Blitz. Vier Russen, welche sechs Jahre lang auf einer Insel östlich von Spitzbergen zubringen mussten, hörten während dieser Zeit den Donner ein einziges Mal.

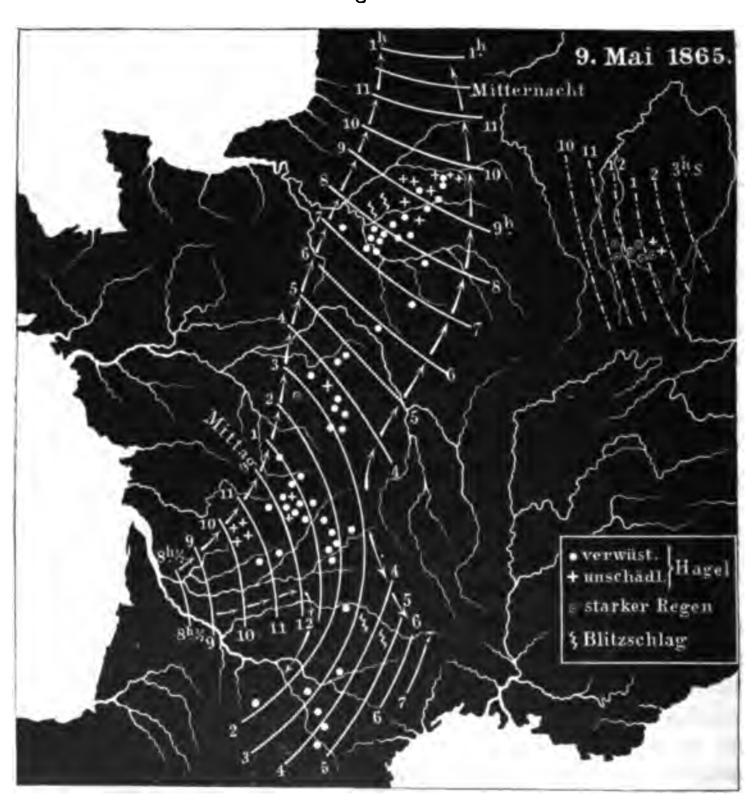
Die meisten Gewitter fallen an verschiedenen Orten keineswegs auf die gleiche Jahreszeit, sondern auf die Zeit der reichlichsten Niederschläge. So kommen zu Calcutta $^3/_4$ aller Gewitter auf die Zeit der regenreichen Südwest-Moussons (April bis September), während sie in der trockenen Jahreszeit (November, December und Januar) ganz fehlen. In Deutschland herrschen die Sommergewitter vor und im Osten Europas giebt es gar keine Wintergewitter. An der Westküste von Schottland erzeugt der dampfende Golfstrom im Winter reichliche Niederschläge, weshalb dort auch die meisten Gewitter auf den Winter fallen. Das Gleiche finden wir auch an den Westküsten von Nordamerika. Auch am Adriatischen Meere und namentlich an dessen Ostküste sind die Wintergewitter vorherrschend. Ausserdem besteht eine tägliche Periode der Gewitterhäufigkeit. Ein Maximum findet in den Nachmittagsstunden von 3 bis 6 Uhr, und ein zweites während der Nacht statt.

In Gebirgsgegenden sind die Gewitter häufiger, wahrscheinlich weil der an den Bergen aufsteigende Luftstrom die Wolkenbildung begünstigt.

Mit grosser Sorgfalt wurde zuerst der Verlauf der Gewitter in Frankreich verfolgt. In jedem Canton ist eine Commission zur Beobachtung der hier auftretenden Gewitter niedergesetzt, welche an eine Centralcommission am Hauptort des Departements berichtet. Diese Central-

commission hat die eingesendeten Notizen zu discutiren und in einer Departementalkarte zusammenzustellen. Die Departementalkarten werden im Observatorium zu Paris gesammelt und dann in eine Karte von Frankreich alle Gewitter eines und desselben Tages eingetragen. Das Jahr 1865 hat 50 solcher Karten geliefert, welche einen der Oeffentlichkeit

Fig. 408.



übergebenen Atlas bilden. Fig. 408 stellt die diesem Atlas entnommene und verkleinerte Gewitterkarte vom 9. Mai 1865 dar.

Das wichtigste Resultat, zu welchem die französischen Gewitterstudien führten, bestand darin, dass die Gewitter wenigstens in Europa nicht, wie man bisher glaubte, locale Phänomene sind. Sie erstrecken sich meist über ein beträchtliches Gebiet und durchziehen manchmal einen mehr oder minder breiten Streifen desselben seiner ganzen Länge nach. Sie begleiten stets die Wirbelstürme, welche vom Atlantischen Ocean her über Europa dahinziehen; diese Wirbelstürme brauchen aber, um ein Gewitter zu erzeugen, um so weniger stark zu sein, als die Luft mehr mit Wasserdämpfen beladen und ihre Temperatur höher ist.

Am 9. Mai 1865 traten zwei Gewittergruppen in Frankreich auf, deren eine vom Meurthe-Departement nach dem Elsass hinzog, Fig. 408, und welche dem Wirbelsturm angehört, dessen Centrum sich um 8 Uhr Morgens in der Nähe von Yarmouth befand. Die zweite durch Dauer und Ausdehnung ausgezeichnete Gruppe entspricht einem Wirbelsturme, der vom Atlantischen Ocean gegen die Küsten Frankreichs heranzog und dessen Centrum am folgenden Tage in der Nähe von Rochefort anlangte. Die Gewitter dieser zweiten Gruppe begannen in der Gironde um $8^1/_2$ Uhr Morgens und zogen gegen Nordost.

Dem Centralplateau von Frankreich sich nähernd, theilte sich der Gewittersturm in zwei Arme, deren einer nach Nord-Nordost fortschritt, während der andere nach Südost umbog. Dieser letztere Arm erlitt an dem Abhang der Cevennen eine merkliche Verzögerung und erweiterte sich rasch gegen die Pyrenäen hin, während der andere Arm, von vielfach verheerendem Hagelschlag begleitet, nach Belgien hinzog. Die Fortpflanzungs-Richtung und -Geschwindigkeit der Gewitter richtet sich nach derjenigen der sie begleitenden Depressionen; im Allgemeinen haben die aus Südwesten kommenden Gewitter die grösste, die aus Osten die kleinste Geschwindigkeit. Im Mittel beträgt dieselbe 30 bis 40 km pro Stunde. Die Fortpflanzungsrichtung weicht gewöhnlich von der Windrichtung in den unteren Luftschichten stark ab, wie denn überhaupt starke Gewitter stets von einer lebhaften Bewegung der Atmosphäre begleitet sind.

Gewöhnlich ist die Atmosphäre in Europa nicht genug mit Elektricität und Feuchtigkeit beladen und die Bewegung der Luft in verticaler Richtung ist nicht stark genug, um ohne Weiteres Gewitter zu bilden, wie in der heissen Zone. Wenn aber ein Wirbelsturm entsteht, so wird die Luft am Umfang desselben gegen die Erdoberfläche herabgerissen, sie bringt ihre niedrige Temperatur mit, was eine Wolkenbildung zur Folge hat, und ihre Elektricität, welche von den Wolken aufgenommen wird.

Unter Umständen können sich aber auch in Europa Gewitter in ähnlicher Weise bilden, wie in der Aequatorialzone, wenn locale Verhältnisse dem aufsteigenden Luftstrom eine für unser Klima ausnahmsweise Stärke geben, wie dies am Abhang der Gebirge wohl vorkommen kann. Daher mag es denn auch kommen, dass die Gewitter in bergigen Gegenden häufiger sind als in der Ebene.

Schliesslich ist noch zu bemerken, dass die bei vulkanischen Ausbrüchen dem Krater entsteigenden Aschen- und Dampfwolken in der Regel von elektrischen Entladungen begleitet sind, indem vom Rollen des Donners begleitete Blitze aus ihnen hervorbrechen. Schon Plinius der Jüngere erwähnt geschlängelte Blitze, welche im Jahre 49 n. Chr. aus den dem Krater des Vesuv entsteigenden Dampfwolken hervorschossen. Das vulkanische Gewölk, welches in den Jahren 1631 und 1794 dem Krater des Vesuv entsteigend auf eine Strecke von 20 und 50 Meilen fortzog, war auf dem ganzen Wege von heftigen Gewittererscheinungen

begleitet. Als im Jahre 1811 bei St. Michael, einer der Azorischen Inseln, das alsbald wieder versinkende Inselchen Sabrina dem Meere entstieg, waren die dunkelsten Theile der dabei aufsteigenden Aschen und Dampfwolken beständig von grellen Blitzen durchzuckt.

274 **Aeusserer Charakter der Gewitterwolken.** Der Bildung der Gewitter geht meist eine ungewöhnliche Schwüle voran. In der mit Wasserdämpfen gesättigten Atmosphäre beginnen sich einzelne Wolken zu bilden, welche rasch an Umfang und Dichtigkeit zunehmen und deren äusseres Ansehen sie schon als Gewitterwolken verkündigt. Von der Ferne gesehen erscheinen sie als dunkle, schwarzgraue Wolkenmassen, welche, auf dem Horizont aufliegend, an ihrer oberen Grenze in eine Masse aufgethürmter Haufenwolken übergehen, welche, noch von der Sonne beschienen, durch ihre blendende Weisse nur um so mehr gegen die Dunkelheit der tieferen Wolkenschichten contrastiren. In diesen aufgethürmten Wolkenmassen bemerkt man gewissermaassen ein gewaltiges Aufschwellen, eine rasche Formveränderung der kugeligen Wolkengipfel, während die ganze Wolkenmasse doch nur langsam vorrückt.

Allmählich nähert sich die Gewitterwolke mehr dem Zenith, und wir sehen nur noch die untere Seite derselben, welche vielfach zerrissen erscheint. Die herabhängenden Wolkenfetzen sind in fortwährender unregelmässiger Bewegung und zeigen oft eine eigenthümliche blaugraue Färbung, welche man als Vorboten von Hagel betrachtet. Ebenso sieht man unter der grossen Gewitterwolke oft einzelne isolirte Wölkchen in unregelmässiger Bewegung nach verschiedenen Richtungen hinziehen.

Was die Höhe der Gewitterwolken über der Erdoberfläche betrifft, so ist diese in gebirgigen Gegenden am leichtesten zu bestimmen, da höhere Berge häufig in die Region der Gewitterwolken hinein-, ja über dieselbe hinausragen, so dass man sich auf dem Gipfel der Berge im vollen Sonnenschein befindet und den reinen blauen Himmel über sich hat, während Gewitterwolken mit Blitz und Donner die Thäler bedecken. In der Ebene lässt sich die Höhe der Gewitterwolken ermitteln, wenn man die Winkelhöhe der Stelle misst, an welcher ein Blitz erscheint, und dann die Zeit beobachtet, welche zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verstreicht.

Aus solchen Beobachtungen hat man ermittelt, dass sich die Gewitterwolken oft bis zu einer Höhe von 200 m herabsenken, während die mittlere Höhe derselben 1000 bis 2000 m zu sein scheint. Aber auch in sehr grossen Höhen finden Gewitter statt, denn es fehlt uns nicht an Berichten, dass Reisende auf den Gipfeln der höchsten Berge noch Gewitter über sich beobachtet haben; so Saussure auf dem Côl du géant in einer Höhe von 3400 und Bouguer auf dem Pichincha in einer Höhe von 4750 m.

275 **Der Blitz und das Wetterleuchten.** Ein Gewitter kommt zum Ausbruch, wenn sich Wolken, welche einen hinlänglichen Grad

elektrischer Ladung erreicht haben, in der Nähe anderer Wolken oder irdischer Gegenstände befinden, gegen welche sie sich entladen können.

Jede solche Entladung ist von einer Lichtentwickelung, dem Blitz, und von einer Lufterschütterung begleitet, von welcher der Donner herrührt. Ein Blitz, welcher einen Körper der Erdoberfläche trifft, wird als Blitzschlag bezeichnet.

Arago unterschied drei Arten von Blitzen. Die Blitze der ersten Classe sind zickzackförmig geschlängelte, schmale, scharf begrenzte Lichtstreifen, welche der Form nach mit den langen Funken kräftiger Elektrisirmaschinen oder grösserer Ruhmkorff'scher Apparate die grösste Aehnlichkeit haben. Solche Blitze schlagen häufig zwischen zwei Wolken oder auch zwischen einer Wolke und einem Gegenstand auf der Erdoberfläche über, in welchem Falle man sagt, dass der Blitz eingeschlagen habe.

Fig. 409. Fig. 410.



Sonderbarer Weise werden die Linienblitze fast immer unrichtig abgebildet, und zwar selbst in landschaftlichen Bildern, welche in ihrer ganzen sonstigen Ausführung auf eine naturgetreue Darstellung Anspruch machen; fast durchgängig findet man den Blitz als Zickzack dargestellt, wie Fig. 409, welcher aus längeren ganz geradlinigen Stücken besteht, welche scharfe, oft spitze Winkel mit einander bilden, während er in der That stets eine geschlängelte Linie ist, wie Fig. 410.

Die Blitze sind oft Meilen lang, wie man am besten übersehen kann, wenn man auf einem hohen Berge unter sich ein Gewitter in der Tiefe zu beobachten Gelegenheit hat. In solchen Fällen sieht man auch, dass häufig Blitze aus den Gewitterwolken nach oben schlagen. Im Jahre 1700 tödtete ein von unten kommender Blitzschlag in Steyermark sieben Personen, welche sich in einer auf einem hohen Berge gelegenen Capelle befanden. Während in der Tiefe das Gewitter tobte, schien oben die Sonne hell am blauen Himmel und Niemand ahnte eine Gefahr.

Viel häufiger als die eben besprochenen sind die Blitze der zweiten Classe, deren diffuses Licht nicht auf einer schmalen gebrochenen Linie concentrirt ist, sondern über grössere Flächen ausgebreitet erscheint. Die Unterscheidung in Blitze der ersten und zweiten Classe ist häufig eine rein zufällige. Ein an und für sich linearer Blitz kann einem Beobachter als ein Blitz zweiter Classe erscheinen, wenn ihm sein directer Anblick durch eine zwischengelagerte Wolke entzogen ist und er nur die durch jenen Blitz hervorgebrachte Erleuchtung wahrnehmen kann. In diesem Falle ist aber der Flächenblitz von gleich kurzer Dauer wie der Linienblitz; man hat es hier nur scheinbar mit Blitzen der zweiten Classe

zu thun. Die eigentlichen Blitze zweiter Classe zeichnen sich durch eine etwas längere Dauer der Lichterscheinung aus. Danach ständen die Blitze erster und zweiter Classe in einer ähnlichen Beziehung zu einander, wie Funken- und Büschelentladung.

Diese Ansicht wird durch Kundt's Beobachtungen über das Spectrum der Blitze bestätigt, nach welchen das Spectrum der Linienblitze gleich dem Spectrum des Funken der Elektrisirmaschine aus einzelnen schmalen scharf begrenzten Linien besteht, während die Spectra der eigentlichen Flächenblitze, ebenso wie die Spectra der elektrischen Büschel durch breitere Lichtbänder gebildet werden.

Als Blitze der dritten Classe bezeichnete Arago Feuerkugeln von sehr verschiedenem Volumen, welche manchmal während der Gewitter die Atmosphäre mit einer verhältnissmässig so geringen Geschwindigkeit durchlaufen, dass man sie oft mehrere Secunden lang mit den Augen verfolgen kann. Ihr plötzliches Verschwinden erfolgt manchmal ohne Geräusch, manchmal aber ist es von einer Detonation begleitet, welche Aehnlichkeit mit Kanonendonner hat. Die Wirkungen, welche solche Kugelblitze auf die getroffenen Gegenstände ausüben, sind ganz die gleichen wie die Wirkungen des gewöhnlichen Blitzschlags. Arago zählt eine grosse Anzahl solcher Feuerkugeln auf, deren elektrische Natur unzweifelhaft ist, deren Bildungsweise wir aber bis jetzt absolut nicht erklären können.

Ein interessantes Beispiel der ziemlich selten vorkommenden elektrischen Feuerkugeln bespricht Hugueny im sechsten Bande der Mémoires de la société des sciences naturelles de Strassbourg. Am 13. Juli 1869 zog gegen Abend von Südwesten her ein Gewitter ohne Regen heran. Um 7 Uhr 7 Minuten traf unter furchtbarem Krachen ein Blitz erster Classe einen Pappelbaum der Rheininsel bei der Kehler Schiffbrücke. Gleich darauf bewegte sich von der Gegend dieses Pappelbaumes aus in fast horizontaler Richtung eine elektrische Feuerkugel gegen einen 840 m entfernten, in der Nähe des Zollhauses stehenden Kastanienbaum, um an demselben unter Explosion zu verschwinden.

Die Feuerkugel, welche von mehreren zuverlässigen Zeugen beobachtet worden war, welche sie der Grösse nach mit einer Kanonenkugel verglichen, legte den 840 m langen Weg von der getroffenen Pappel bis zum Kastanienbaum in 3,5 Secunden zurück. Ein Theil des Kugelblitzes, welcher den Kastanienbaum getroffen hatte, drang am Stamme herab in den Boden, zum Theil aber traf er drei Soldaten des französischen Wachtpostens, welche auf einer unter dem Baume befindlichen Bank gesessen hatten. Zwei derselben wurden durch den Schlag sogleich getödtet und der dritte schwer verletzt.

Das Wetterleuchten, welches man des Abends oder während der Nacht selbst bei ganz heiterem Himmel sieht, ohne dass man irgend ein Donnern hört, ist wohl nur der Widerschein sehr entfernter Blitze. In der Nacht vom 10. auf den 11. Juli 1783 bemerkte Saussure auf der

Grimsel in der Richtung gegen Genf am Horizonte einige Wolkenstreifen, in welchen er Wetterleuchten wahrnahm, ohne dass man das mindeste Geräusch hören konnte. In derselben Nacht, zu derselben Stunde, wurde Genf von einem furchtbaren Gewitter heimgesucht.

Am Abend des 31. Juli 1813 beobachtete Howard zu Tottenham in der Nähe von London bei vollkommen wolkenfreiem Himmel starkes Wetterleuchten gegen Südosten hin, und erfuhr später, dass zu derselben Zeit ein heftiges Gewitter zwischen Dünkirchen und Calais, also in einer Entfernung von ungefähr 25 Meilen, stattgefunden hatte.

Dass der Widerschein eines Blitzes auf solche Entfernungen hin wahrnehmbar sein kann, geht daraus hervor, dass, als Zach im Jahre 1803 auf dem Brocken zum Zweck von Längenbestimmungen Blitzfeuer von 7 Unzen Pulver anzündete, man den Widerschein bis auf eine Entfernung von nahe 40 Meilen, also an Orten wahrnehmen konnte, von welchen aus wegen der Krümmung der Erde der Gipfel des Brockens selbst gar nicht mehr sichtbar sein konnte.

Bisweilen findet bei starkem Gegensatze der an der Erdoberfläche und in der Luft befindlichen Elektricität, z. B. tiefstehenden Gewitterwolken, eine allmähliche Ausgleichung dadurch statt, dass die Elektricität der Erde in Form heller Büschel durch spitze Gegenstände in die Luft ausströmt, ähnlich wie das bei dem Conductor einer Elektrisirmaschine geschieht, wenn an ihr eine Spitze befindlich ist oder man ihr eine Spitze nähert. Diese Erscheinung, welche man das St. Elmsfeuer nennt, ist seit lange bekannt; es kommt besonders häufig in Gebirgen und auf dem Meere vor.

Der Donner entsteht ohne Zweifel durch die Vibrationen der beim 276
Ueberschlagen eines Blitzes gewaltsam erschütterten Luft. Blitz und Donner entstehen gleichzeitig, und wenn man den Donner später hört, als man den Blitz sieht, so liegt dies nur darin, dass sich der Schall ungleich langsamer fortpflanzt als das Licht.

Aus dem Zeitintervall, welches zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners vergeht, kann man auf die Entfernung des Blitzes vom Beobachtungsorte schliessen.

Der Blitz ist, in runder Zahl ausgedrückt, so vielmal 1000 Fuss (24 000 Fuss = 1 geogr. Meile) vom Beobachter entfernt, als Secunden zwischen der Wahrnehmung des Blitzes und des Donners verstreichen.

Der Donner ist nicht auf weithin hörbar; das grösste Zeitintervall, welches man bis jetzt zwischen Blitz und Donner beobachtet hat, beträgt 72 Secunden, was auf eine Entfernung von etwa 3 geographischen Meilen schliessen lässt. Dass der Donner schon in so geringer Entfernung aufhört, wahrnehmbar zu sein, ist um so auffallender, da man Kanonenschüsse viel weiter hört. Bei der Belagerung von Genua durch die Franzosen hörte man den Kanonendonner zu Livorno, in einer Entfernung von 20 Meilen.

Man sieht das Licht gleichzeitig auf der ganzen Bahn des Blitzes, und auf der ganzen Strecke entsteht auch gleichzeitig der Knall; da sich aber der Schall langsamer verbreitet als das Licht, da er in einer Secunde nur 340 m zurücklegt, so sieht man den Blitz eher als man den Donner hört; ein Beobachter, welcher sich nahe an dem einen Ende der Bahn des Blitzes befindet, wird den in allen Punkten gleichzeitig entstehenden Ton nicht gleichzeitig hören. Nehmen wir an, der Blitz sei 3400 m lang und der Beobachter befinde sich in der Verlängerung seiner Bahn, so wird der Schall von dem entfernteren Ende des Blitzes 10 Secunden später ankommen als von dem zunächst gelegenen Ende. Da demnach der Schall von den verschiedenen Stellen des Blitzes nur nach und nach zum Ohre des Beobachters gelangt, so hört er also nicht einen momentanen Knall, sondern ein, je nach der Länge des Blitzes und seiner Stellung gegen die Bahn desselben, länger oder kürzer dauerndes Rollen des Donners, welches wohl noch durch ein Echo in den Wolken verstärkt wird.

277 **Wirkungen des Blitzschlages.** Denken wir uns, dass eine etwa positive Gewitterwolke über dem Meere oder über einem See schwebe, so wird sie vertheilend wirken, die positive Elektricität im Wasser wird zurückgestossen, die negative aber an der Oberfläche des Wassers angehäuft; diese Anhäufung kann so bedeutend sein, dass sie eine merkliche Erhebung des Wassers bewirkt; es wird sich eine grosse Woge, ein Wasserberg bilden können, welcher so lange bleibt, als dieser elektrische Zustand dauert, der auf dreierlei Weise endigen kann. 1) Wenn sich die Elektricität der Wolke allmählich verliert, ohne dass ein Entladungsschlag erfolgt, so wird sich auch der neutral-elektrische Zustand des Wassers allmählich wieder herstellen. 2) Wenn der Blitz zwischen einer Gewitterwolke und einer anderen, oder zwischen der Wolke und einem entfernteren Orte der Erde überschlägt, wenn also die Wolke plötzlich entladen wird, so muss die an der Oberfläche des Wasserberges angehäufte Elektricität auch rasch wieder ab-, die bisher abgestossene rasch wieder zuströmen, es findet eine plötzliche Ausgleichung, ein Rückschlag statt. 3) Wenn die Gewitterwolke sich nahe genug befindet und wenn sie stark genug mit Elektricität geladen ist, so schlägt der Blitz auf den Wasserberg über. Dieser directe Schlag bringt in der Regel eine bedeutendere Bewegung, ein stärkeres Aufwallen des Wassers hervor als der Rückschlag. Ein solcher Schlag findet nicht ohne mächtige mechanische Wirkung statt

Betrachten wir nun die Wirkungen der Gewitterwolken auf dem Lande.

Eine allmähliche Zerlegung und Wiedervereinigung der Elektricität bringt keine sichtbaren Wirkungen hervor; es scheint jedoch, dass solche Störungen des elektrischen Gleichgewichts durch organische Wesen, und namentlich durch nervenkranke Personen, empfunden werden können.

Der Rückschlag ist stets weniger heftig als der directe; es giebt kein Beispiel, dass er eine Entzündung veranlasst habe, dagegen fehlt es nicht an Beispielen, dass Menschen und Thiere durch den Rückschlag getödtet worden sind; man findet an ihnen in diesem Falle durchaus keine gebrochenen Glieder, keine Wunden und keine Brandspuren.

Die furchtbarsten Wirkungen bringt der directe Schlag hervor. Wenn der Blitz einschlägt, so bezeichnet er die Stelle, wo er den Boden trifft, durch ein oder mehrere, bald mehr, bald minder tiefe Löcher.

Alles, was sich über die Ebene erhebt, ist vorzugsweise dem Blitzschlage ausgesetzt; daher kommt es, dass so oft Thiere mitten in der Ebene erschlagen werden; unter sonst gleichen Umständen ist man jedoch auf einem nichtleitenden Boden sicherer, als auf einem gutleitenden.

Bäume sind schon durch Säfte, welche in ihnen circuliren, gute Leiter; wenn eine Gewitterwolke über ihnen hinzieht, so findet in den Bäumen eine starke Anhäufung von Elektricität statt, und deshalb sagt man mit Recht, dass Bäume den Blitz anziehen; man darf daher während eines Gewitters unter Bäumen, namentlich unter einsam stehenden Bäumen, ja selbst unter einsam in der Ebene stehenden Sträuchen keinen Schutz suchen.

Gebäude sind in der Regel aus Metall, Steinen und Holz zusammengesetzt. Wegen der ungleichen Leitungsfähigkeit dieser Substanzen ist auch die Wirkung der Gewitterwolken auf dieselben sehr verschieden. Wenn der Blitz einschlägt, so trifft er vorzugsweise die besseren Leiter, mögen sie nun frei oder durch schlechtere Leiter eingehüllt sein; die vertheilende Kraft der atmosphärischen Elektricität wirkt auf den in die Wand eingeschlagenen Nagel eben so gut, wie auf die frei in die Luft ragende Windfahne.

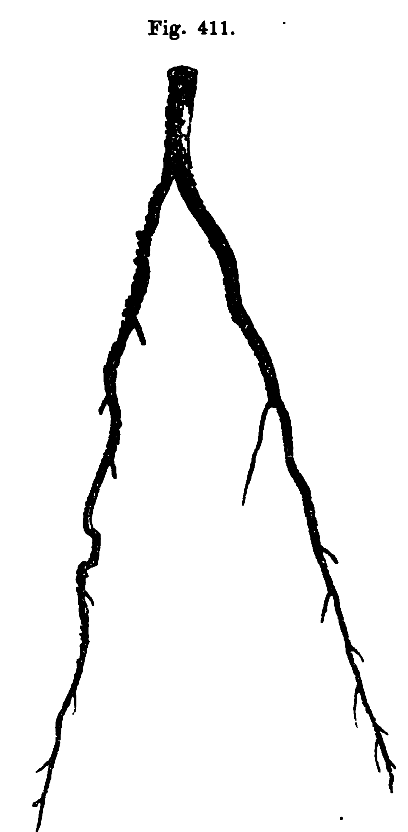
Die mechanischen Wirkungen des Blitzes sind in der Regel sehr heftig. Wenn der Blitz in ein Zimmer einschlägt, so werden die Möbel umgestürzt und zertrümmert, Metallstücke werden herausgerissen und fortgeschleudert. Bäume werden vom Blitz gespalten und zersplittert, gewöhnlich aber kann man vom Gipfel bis zum Boden eine mehrere Centimeter breite und tiefe Furche verfolgen, die abgeschälte Rinde und die ausgerissenen Späne findet man weit weggeschleudert, und am Fusse des Baumes sieht man oft ein Loch, durch welches das elektrische Fluidum sich in den Boden verbreitete.

Der Blitz ist stets von einer namhaften Temperaturerhöhung begleitet. Wenn der Blitz ein Strohdach, trockenes Holz, ja grüne Bäume trifft, so findet eine Verkohlung, meistens sogar eine Entzündung statt; bei Bäumen findet man jedoch seltener Spuren von Verkohlung. Metalle werden durch den Blitz stark erhitzt, geschmolzen oder verflüchtigt. Wiederholte Blitzschläge bringen auf hohen Bergen sichtbare Spuren von Schmelzung hervor; Saussure bemerkte sie auf dem Gipfel des Montblanc in Hornblendeschiefer, Ramond auf dem Gipfel des Montperdu in Glimmerschiefer und auf dem Puy de Dome in Porphyr; endlich sahen

Humboldt und Bonpland auf dem Gipfel des Vulcans von Toluca auf einer Ausdehnung von mehr als zwei Quadratfuss hin die Oberfläche der Felsen verglast; an einigen Stellen fanden sie sogar Löcher, welche innen mit einer glasigen Kruste überzogen waren.

Ein interessantes Beispiel von Schmelzung durch den Blitz erzählt uns Withering (Phil. Transact. 1790). Am 3. September 1789 schlug der Blitz in eine Eiche im Park des Grafen von Aylesford ein und tödtete einen Menschen, welcher unter diesem Baume Schutz gesucht hatte. Der Stock, welchen der Unglückliche trug, scheint besonders den Blitz geleitet zu haben, weil sich da, wo der Stock auf den Boden aufgestützt war, ein Loch von 5 Zoll Tiefe und $2^1/_2$ Zoll Durchmesser fand. Das Loch wurde alsbald von Withering untersucht, und es fanden sich in demselben nur einige verbrannte Wurzelfasern. Der Lord Aylesford wollte nun an dieser Stelle eine Pyramide mit einer Inschrift errichten lassen, welche davor warnen sollte, bei Gewittern unter Bäumen Schutz zu suchen. Beim Graben des Fundaments fand man den Boden in der Richtung des Loches bis zu einer Tiefe von 10 Zoll geschwärzt, und 2 Zoll tiefer fand man in dem quarzigen Boden deutliche Spuren von Schmelzung. Unter Anderem fand sich ein Quarzstück, dessen Kanten und Ecken vollkommen geschmolzen waren, und eine durch die Hitze zusammengebackene Sandmasse, in welcher sich eine Höhlung befand, in der die Schmelzung so vollkommen war, dass die geschmolzene Quarzmasse an den Seiten der Höhlung heruntergeflossen war.

Fig. 411.



Hier müssen auch noch die sogenannten Blitzröhren, Fulgurite, erwähnt werden, welche man in den sandigen Ebenen von Westphalen, Schlesien, von Ostpreussen (hier namentlich auch auf den sogenannten, fast ganz aus Flugsand bestehenden Nehrungen), von Cumberland und in Brasilien nahe bei Bahia, findet. Diese Röhren sind oft 8 bis 10 m lang, ihr äusserer Durchmesser beträgt gewöhnlich 5 cm, ihr innerer einige Millimeter, die innere Fläche ist vollkommen verglast, die

äussere ist rauh; sie sieht aus wie eine mit zusammengebackenen Sandkörnern bedeckte Kruste; man findet sie bald in verticaler, bald in schräger Richtung im Sande; am unteren Ende verzweigen sie sich gewöhnlich und werden nach und nach spitzer. Fiedler, welcher über diesen Gegenstand viele interessante Beobachtungen gemacht hat (Gilbert's Ann., Bd. LV und LXI), bemerkt, dass sich in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche der Sandebenen Wassermulden befinden, und er betrachtet die Blitzröhren dadurch entstanden, dass der Blitz durch den Sand nach dem Wasser durchschlägt.

Fig. 411 stellt eine sich in zwei Hauptäste vertheilende Blitzröhre dar, welche Conwerden bei Rheina an der Ems an der Südseite eines 15 bis 16 Fuss hohen Sandhügels bis zu einer Tiefe von 13 Fuss ausgegraben hat. Fig. 412 stellt ein Stück einer aus der Senner Haide bei Paderborn stammenden Blitzröhre in natürlicher Grösse dar.

Fig. 412.



Die vollständige Verglasung, welche man an der inneren Wandung der Blitzröhren beobachtet, ist ein Beweis, dass sie durch Schmelzung des Sandes entstanden sind, also nur durch Blitzschläge erklärt werden können; jedenfalls ist die Ansicht irrig, als seien es röhrenartige Concretionen, welche sich in sandigem Terrain durch herabrinnendes Wasser nach und nach gebildet haben. Die oben angeführte Mittheilung Withering's kann als directer Beweis für den elektrischen Ursprung der Blitzröhren dienen. Noch unzweifelhafter ergiebt sich aber dieser Ursprung aus der folgenden Beobachtung. Am 15. Juni 1858 zwischen 11 und 12 Uhr Morgens waren einige Leute auf einem Baggerschiffe auf der Hunte bei Oldenburg beschäftigt, als sie von einem heftigen Blitzstrahl betäubt wurden. Alsbald wieder zur Besinnung gekommen, sahen sie es am gegenüberliegenden Ufer dampfen. Sie fuhren hinüber und bemerkten an einer Stelle, deren Rasen verkohlt war, zwei mit einem Kranze weissen Sandes umgebene Löcher. Bei vorsichtigem Nachgraben führte jedes Loch zu einer Röhre, welche ihrer zarten Beschaffenheit wegen nur stückweise herausgebracht werden konnte. Die ganz dünnwandigen Röhrenstücke, welche zum Theil dem Oldenburger Museum übergeben wurden, sind inwendig hübsch verglast und von aussen von anhängendem Sande rauh (Pogg. Ann. CVI, 1859). Aehnliche Beobachtungen wurden auch anderwärts gemacht; zu den interessantesten hierher gehörigen Beobachtungen dürfte wohl der folgende von Dr. Hoh (Pogg. Ann. CXXXI) mitgetheilte Fall gehören. Am 24. Juni 1867 schlug der Blitz zu Forchheim in der Nähe von Bamberg in ein Haus, in dessen unterem Stock er zwei Kinder und drei junge Hunde tödtete und einen

alten Mann betäubte. In einem Zimmer des oberen Stockes legte der Blitz auf dem mit weissem Sand bestreuten Fussboden einen Weg von zwei Fuss Länge zurück und bildete hier eine förmliche Blitzröhre von abgeplatteter unregelmässiger Cylinderform, welche innen durch Schmelzung vollkommen glatt, aussen durch zusammengebackene Sandkörner rauh erschien. Der Durchmesser eines zwei Zoll langen, im Besitze des Dr. Hoh befindlichen Stückes dieser Röhren wechselte von zwei bis sechs Linien.

Am 9. Juli 1849 entlud sich über Basel ein heftiges Gewitter, welches dreimal einschlug. Einer dieser Blitzschläge folgte dem Blitzableiter eines Hauses bis in den Boden, sprang aber von da auf eine drei Fuss vom unteren Ende der metallischen Leitung vorübergehende eiserne Wasserleitung über. Die einzelnen Röhrenstücke dieser Wasserleitung waren mit Pech in einander gefügt, und gerade an diesen Stellen, wo also die metallische Leitung unterbrochen war, wurden viele Röhrenstücke bis auf eine Entfernung von mehr als $^1/_6$ Meile durch das Ueberspringen des elektrischen Fluidums zersprengt. Gleich nach jenem Blitzschlage hörten deshalb auch alle Brunnen des entsprechenden Stadtviertels auf zu fliessen.

Dass der Blitzschlag Menschen und Thiere tödten kann, ist bekannt; als Beispiele führen wir hier einige der Fälle an, welche zum Theil aus Arago's Abhandlung „sur le tonnère“ Seite 475 entnommen sind. (Annuaire du bureau des longitudes pour 1838.)

In der Nacht vom 26. auf den 27. Juli 1759 schlug der Blitz in das Theater der Stadt Feltre ein, tödtete viele Zuschauer und verwundete fast alle übrigen.

Im Jahre 1808 schlug der Blitz in ein Wirthshaus des Fleckens Kappel im Breisgau und tödtete vier Personen.

Am 20. März 1784 schlug der Blitz in den Saal des Theaters zu Mantua, wo 400 Personen versammelt waren; er tödtete 2 derselben und verwundete 10.

Am 11. Juli 1819 schlug der Blitz während des Gottesdienstes in die Kirche von Chateauneuf-les-Moustiers im Arrondissement von Digne (Departement der Niederalpen) ein, tödtete 9 Personen und verletzte deren 24 mehr oder weniger.

Am 10. Juli 1855 entlud sich Morgens zwischen 7 und 9 Uhr über der ganzen badischen Rheinebene und einem Theile des Schwarzwaldes ein Gewitter, welches an weit aus einander liegenden Orten mehrere Menschen tödtete. Zu Thunsel, oberhalb Freiburg, erschlug nämlich der Blitz einen aus dem Felde heimkehrenden Ackerknecht sammt seinen beiden Pferden. Im Amte Durlach suchten vier Personen unter einem 40 Fuss hohen Birnbaum Schutz gegen den Regen; ein Blitzschlag, welcher den Baum traf, tödtete zwei derselben, während die beiden anderen gelähmt wurden. In der Nähe von Bruchsal endlich schlug während desselben Gewitters der Blitz in eine Torfhütte, in welche sich viele Arbeiter geflüchtet hatten, verletzte mehrere und tödtete zwei derselben.

Im Ganzen ist aber doch die Summe der durch den Blitz erschlagenen Personen so gering, dass man solche Fälle immerhin zu den Seltenheiten zählen kann, obgleich das Einschlagen des Blitzes in Gebäude ziemlich häufig vorkommt. So schlug in der einzigen Nacht vom 14. auf den 15. April 1718 der Blitz längs der Küste der Bretagne in 24 Kirchthürme und am 11. Januar 1815 traf der Blitz in den Niederlanden 12 Thürme.

Ausgezeichnete und hohe Gebäude werden sehr häufig durch den Blitz heimgesucht.

Im Jahre 1417 schlug der Blitz in den Glockenthurm von St. Marcus in Venedig und zündete das Gebälk an, welches vollständig verbrannte; das wiederhergestellte Dach wurde im Jahre 1489 durch einen Blitzschlag abermals in Asche gelegt. Die später von Stein erbaute Pyramide wurde am 23. April 1745 durch einen heftigen Blitzschlag so verwüstet, dass die Reparaturen 8000 Ducaten kosteten.

Im Juli 1759 entzündete der Blitz das Dach des Strassburger Münsters, und im October des folgenden Jahres traf ein Blitzstrahl den Thurm desselben und zerschmetterte die Pfeiler, welche die sogenannte Laterne tragen, dermaassen, dass die Reparatur über 100 000 Franken kostete.

Auch der Thurm des Freiburger Münsters ist öfters vom Blitz getroffen worden; so richtete z. B. ein Blitzschlag, welcher am 28. April 1561 die herrliche Pyramide, Fig. 413 (a. f. S.), traf, so bedeutenden Schaden an, dass man zur Wiederherstellung derselben Werkmeister von Strassburg, Colmar und Ettlingen kommen liess und die benachbarten Stifter beisteuerten, um die Kosten dieser Reparatur zu decken.

Am 2. Januar 1819 traf ein Blitzstrahl den Münsterthurm und ging, nachdem er die in der Höhe von *b*, Fig. 413, hängenden Glocken erreicht hatte, ohne merklichen Schaden zu thun, auf der Nordseite des Thurmes an dem Draht herab, welcher zu der Signalschelle in der Wohnung des Thurmwächters führt. Ein Knabe, welcher gerade unter dem Handgriff dieses Drahtes sich befand, wurde getödtet.

Am 10. Januar 1843 zwischen 3 und 4 Uhr Nachmittags nahm ein Blitzschlag wieder fast denselben Weg, wie im Jahre 1819. Von der Pyramide, an welcher nur einige Steine beschädigt wurden, trat er in die Schneckenstiege *ab*, Fig. 413, welche die nordöstliche Ecke des Thurmes bildet; die eisernen Klammern, welche hier zur besseren Verbindung der einzelnen Steine mittelst Blei eingelassen sind, bestimmten den Weg; indem der Blitz von einer solchen Klammer zur nächsten übersprang, wurde ein Theil des zur Befestigung dienenden Bleies geschmolzen, mit fortgerissen und auf dem Zwischenraum zwischen je zwei Klammern wurde auf der Oberfläche des Sandsteines ein Bleiglas erzeugt, welches in Form kleiner Glaskügelchen einen fingerbreiten weissen Streifen bildete. Durch allmähliche Verwitterung des Bleiglases ist dieser Streifen jetzt wieder verschwunden. Aus der Schneckenstiege nahm der Blitz abermals seinen Weg über die Glocken zu dem schon erwähnten ungefähr $2^1/_2$ mm dicken

eisernen Schellendraht, welcher diesmal theilweise geschmolzen und zerrissen wurde.

Im Jahre 1844 stellte Frick den Blitzableiter am Thurme her, und zwar auf folgende ebenso einfache als zweckmässige Weise: Von dem metallenen Stern, welcher als Wetterfahne dienend ohnehin schon die Spitze bildet, wurde ein aus neun ungefähr $1^1/_2$ mm dicken Kupferdrähten bestehendes Drahtseil bis in den Boden herabgeführt und mit diesem durch 5 mm dicke Kupferdrähte alle bedeutenderen Metallmassen, wie die

Fig. 413.



Glocken, die Eisenstangen, welche die Pyramiden halten, u. s. w., in Verbindung gebracht.

Diese Vorrichtung hat sich am 28. April 1847 trefflich bewährt, indem ein Blitzstrahl, welcher den Thurm traf, an dem erwähnten Drahte bis zum Boden herabfuhr, ohne dass er auch nur die mindeste Verletzung hervorgebracht hätte.

Dagegen wurde das Drahtseil auf der ganzen Strecke von der Spitze bis zum unteren Ende der Pyramide bei *a*, Fig. 413, in mehrere grössere und kleinere Stücke zerbrochen, als sich am Abend des 8. April 1862 ein furchtbarer Blitzschlag auf den Münsterthurm entlud. — Auffallender

Weise zeigten alle Bruchstellen des Drahtes eine schöne Goldfarbe und bei genauerer Untersuchung ergab sich, dass der Draht in Folge eines Unterschleifes des Lieferanten nicht von Kupfer, sondern von Messing war. In Folge der hohen Temperatur, bis zu welcher das Drahtseil wegen der schlechten Leitungsfähigkeit des Messings durch den Blitzschlag erwärmt worden war, war es brüchig geworden und unfähig, der gleichzeitigen Erschütterung zu widerstehen.

In der Nacht des 2. November 1872 wüthete über Alatri in der römischen Campagna ein furchtbares Gewitter. Die von einem Blitzableiter geschützte Kuppel des Glockenthurmes der im höchsten Theile der Stadt gelegenen Kathedrale wurde zuerst zweimal von schwächeren Blitzstrahlen getroffen, ein dritter aber war so heftig, dass er allgemeinen Schrecken in der tiefer liegenden Stadt hervorrief. Die Kathedrale blieb durch diesen Blitzschlag völlig unverletzt, er folgte der Bodenleitung bis zum äussersten Ende derselben, sprang aber von da auf eine eiserne Wasserleitung über, welche das Wasser von dem Reservoir zu Alatri nach der benachbarten Stadt Ferentino führt. Zunächst warf der Blitz in dem Boden einen geradlinigen Graben auf, welcher vom unteren Ende der Bodenleitung zum nächsten Punkte der bezeichneten Röhrenleitung führte; die dabei herausgeworfene Erde war regelmässig zu beiden Seiten des Grabens vertheilt. Die Länge des Grabens betrug 10, seine Tiefe 0,7 m. Die vom Blitz getroffene Röhre wurde vollständig zerrissen und einzelne Stücke derselben 8 bis 10 m weit fortgeschleudert. In Folge dieser Zertrümmerung konnte natürlich das Wasser nicht mehr nach Ferentino laufen.

Ein anderer Theil der elektrischen Entladung verbreitete sich nach dem Reservoir und von da nach der Stadt Alatri, wo er noch einige unbedeutende Beschädigungen veranlasste.

Dieser Fall zeigt abermals, wie nothwendig es ist, eiserne Wasser- und Gasleitungen mit den benachbarten Blitzableitern in leitende Verbindung zu bringen.

Am 18. August 1769 schlug der Blitz in einen Pulverthurm zu Brescia; 200 000 Pfund Pulver wurden entzündet und dadurch eine so furchtbare Explosion verursacht, dass $^1/_3$ der Häuser dieser grossen und schönen Stadt umgestürzt und die übrigen bedeutend beschädigt wurden. 3000 Menschen verloren bei dieser Katastrophe das Leben.

Im Jahre 1785 wurde ein Pulvermagazin zu Tanger, im Jahre 1807 ein solches zu Luxemburg und im Jahre 1808 eines im Fort St. Andrea del Lido zu Venedig durch den Blitz entzündet und in die Luft gesprengt.

Am 5. November 1755 schlug der Blitz in ein Pulvermagazin in der Nähe von Rouen, spaltete einen Balken des Daches und zersplitterte zwei Pulverfässer, ohne das Pulver zu entzünden.

Auf Seite 417, 418 und 419, sowie auf Seite 485 bis 488 der erwähnten Abhandlung führt Arago eine Reihe von Fällen an, in welchen der Blitz in Schiffe eingeschlagen hat. Aus dem Allen ergiebt sich,

wie nothwendig es ist, Schiffe sowohl wie Gebäude durch Blitzableiter zu schützen.

Die Blitzschläge sind zu keiner Zeit gefährlicher als in den kälteren Jahreszeiten.

Arago fand dies bestätigt, als er bei seiner Lectüre alle Blitzschläge notirte, welche an bestimmt bezeichneten Tagen Schiffe getroffen hatten, und nachher die so zusammengetragenen Fälle nach Monaten ordnete. Er nahm in diesem Verzeichniss (S. 417 bis 419 der Abhandlung) nur solche Fälle auf, welche sich auf der nördlichen Hemisphäre ausserhalb der Wendekreise ereigneten.

Die Zahl der mit genügendem Datum und mit bestimmter Ortsbestimmung versehenen auf Schiffe gefallenen Blitzschläge, welche er auffinden konnte, war im

Januar . . .	5,	Mai	0,	September .	2,
Februar . .	4,	Juni	0,	October . .	2,
März . . .	1,	Juli	2,	November .	4,
April . . .	5,	August	1,	December . .	4.

Bedenkt man nun, dass die Gewitter im Sommer weit häufiger sind als im Winter, so unterliegt es keinem Zweifel, dass die Wintergewitter, auf dem Meere wenigstens, weit gefährlicher sind als die Sommergewitter, was wohl damit zusammenhängen mag, dass die Gewitterwolken im Winter weit tiefer ziehen als im Sommer.

Auch die oben angeführten Blitzschläge, welche den Thurm des Freiburger Münsters trafen, fanden in den Monaten Januar und April statt.

Zweites Capitel.

Der Erdmagnetismus.

Magnetische Wirkung der Erde im Allgemeinen. Man kann die Grundlehren der Mechanik vollständig darstellen, ohne dass von der Planetenbewegung die Rede ist, man kann die gesammte Elektricitätslehre entwickeln, ohne dass man nöthig hätte, die Gewitter und die atmosphärische Elektricität in den Kreis der Betrachtung zu ziehen. 278

Ganz anders verhält es sich mit dem Magnetismus. Die magnetischen Erscheinungen, welche man an Magnetstäben und Magnetnadeln beobachtet, stehen in so enger Beziehung zu dem Erdmagnetismus (die Pole der Magnete haben ja von dieser Beziehung sogar ihren Namen erhalten), dass schon in der Experimentalphysik nothwendig von demselben die Rede sein muss.

Während aber dort von dem Erdmagnetismus nur so weit die Rede sein kann, als zur Begründung der Lehre vom Magnetismus überhaupt nothwendig ist, bleibt es der kosmischen Physik vorbehalten, die magnetischen Verhältnisse der Erde einer speciellen Betrachtung zu unterwerfen.

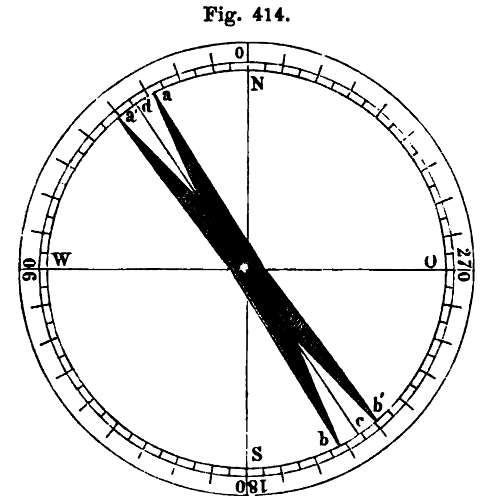
Um die Wirkung des Erdmagnetismus an irgend einem gegebenen Orte der Erdoberfläche kennen zu lernen, muss man die Richtung und die Grösse der Kraft erforschen, mit welcher er magnetische Körper afficirt. Die Richtung der magnetischen Körper ist durch Declination und Inclination gegeben; um also die magnetische Erdkraft eines Ortes zu ermitteln, hat man nur die sogenannten magnetischen Constanten derselben, nämlich Declination (Abweichung, Missweisung), Inclination und Intensität, zu bestimmen.

Hier haben wir nun ausführlicher zu besprechen, wie die magnetischen Constanten sich mit der geographischen Lage des Beobachtungsortes ändern, und welchen Variationen die magnetische Erdkraft unterworfen ist.

Welche Methoden anzuwenden sind, um die magnetischen Constanten eines Ortes zu ermitteln, muss der Hauptsache nach schon in der Experimentalphysik besprochen werden, doch dürfte es zweckmässig sein, hier das Wichtigste zu wiederholen.

279 **Bestimmung der magnetischen Declination.** Früher wandte man zur Bestimmung der magnetischen Declination nur Apparate an, welche nach dem Principe der Declinationsbussolen construirt waren. Wenn die magnetische Axe der Nadel mit der geometrischen, d. h. mit der Verbindungslinie der beiden Spitzen zusammenfiele, so würde man an dem getheilten Kreise der Bussole unmittelbar die Declination ablesen können, vorausgesetzt, dass das Instrument so aufgestellt ist, dass die Verbindungslinie der Theilstriche 0 und 180 genau in den astronomischen Meridian fällt.

Fig. 414.



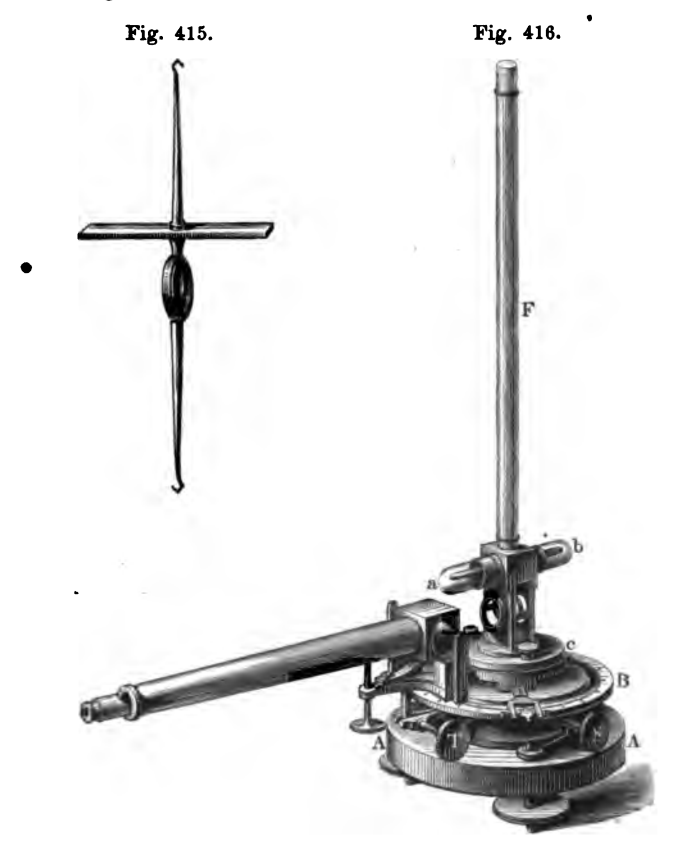
Im Allgemeinen ist aber diese Bedingung nicht erfüllt, d. h. die magnetische Axe der Nadel weicht in der Regel mehr oder weniger von der geometrischen ab. Dieser Fehler wird nun durch die Methode des Umkehrens corrigirt.

Zu diesem Zwecke ist die Nadel nicht auf ihrem Hütchen befestigt, sondern nur aufgelegt, so dass man sie abheben, umkehren (d. h. die bis dahin nach oben gerichtete Fläche nach unten wenden) und dann wieder auflegen kann. In Fig. 414 stelle z. B. ab die Lage einer horizontalen Magnetnadel dar, deren magnetische Axe in die Linie dc fällt, so ist die Gradzahl, auf welche die Spitze a der Nadel deutet, offenbar kleiner als der gesuchte Declinationswinkel. Legt man aber nun die Nadel in der angegebenen Weise um, so nimmt sie jetzt die Lage $a'b'$ an, und es deutet die Spitze a' der Nadel auf eine Gradzahl, welche um eben so viel zu gross ist, wie sie vorher zu klein war; man erhält also den wahren Werth der Declination, wenn man aus den beiden Ablesungen bei a und a' das Mittel nimmt.

Die Methode des Umlegens muss auch noch angewandt werden, wenn man die absolute Declination eines Ortes mit Hülfe von Spiegel tragenden Magneten bestimmt (Lehrbuch der Physik, 9. Aufl., Bd. III, §. 18), da man es doch nicht wohl dahin bringen kann, dass die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig zu der magnetischen Axe des Magnet-

stabes ist. Es versteht sich von selbst, dass, wenn man die Methode des Umlegens in Anwendung bringen will, der Spiegel mit dem Magneten auf eine unveränderliche Weise verbunden sein muss, so dass er bei dem Umlegen mit umgedreht wird, mag sich nun der Spiegel am vorderen Ende des Magnetes befinden oder an seiner Umdrehungsaxe; im letzteren

Fig. 415. Fig. 416.



Falle wird sich natürlich der Spiegel in der einen Lage über, in der anderen unter dem Magneten befinden (Fig. 415).

Da es höchst wünschenswerth ist, dass die magnetischen Constanten nicht allein für solche Orte mit Genauigkeit bestimmt werden, an welchen magnetische Observatorien errichtet worden sind, dass namentlich auch auf wissenschaftlichen Reisen dergleichen Bestimmungen gemacht werden, so ist es wichtig, dass die für solche Zwecke nöthigen Apparate möglichst vereinfacht, dass sie bei grosser Genauigkeit doch compendiös und leicht transportabel gemacht werden. In dieser Beziehung hat sich vor Allem Lamont durch die Construction seines magnetischen Reisetheodoliten grosse Verdienste erworben.

Fig. 416 (a. v. S.) ist eine perspectivische Ansicht von Lamont's magnetischem Theodoliten, wie er zu Declinationsbestimmungen dient. *A A* ist eine massive messingene Platte, welche mit drei Stellschrauben zum Horizontalrichten versehen, auf ein passendes, in unserer Figur nicht dargestelltes Stativ gestellt wird. Mit dieser Platte unveränderlich verbunden ist die am Rande mit einem getheilten Silberringe versehene Scheibe *B*. In Fig. 417 ist ein geometrischer Aufriss des Apparates in $1/2$ der natürlichen Grösse und zwar zum Theil im Durchschnitt dargestellt. Durch die Höhlung der Platte *A A* hindurch geht eine ver-

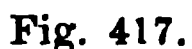
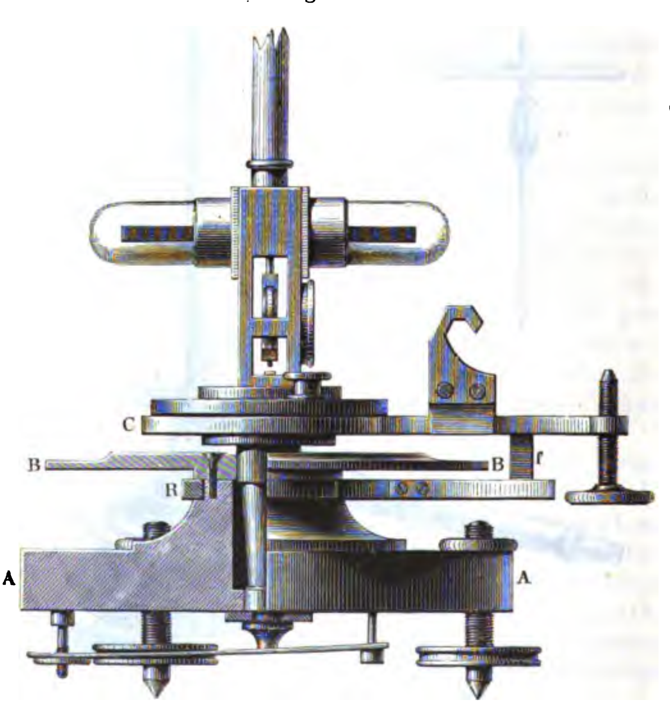


Fig. 417.



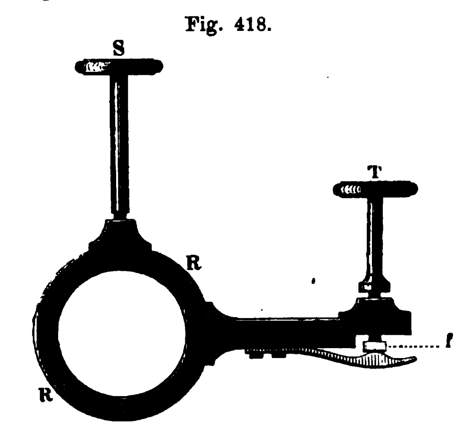
ticale Axe, welche die Scheibe *C* trägt. Die Scheibe *C* kann in ihrer Ebene um diese verticale Axe gedreht werden, und diese Drehung mit Hülfe zweier Nonien (wovon der eine in Fig. 416 sichtbar ist), die an *C* befestigt sind und an ihrer Drehung Theil nehmen, auf dem getheilten Kreise *B* abgelesen werden.

Die Scheibe *C* trägt eine horizontale Verlängerung, welche als Fernrohrträger dient. Eine horizontale Axe, um welche sich das Fernrohr drehen kann, wird durch eine messingene Feder (überhaupt kommt ausser dem Magnetstäbchen am ganzen Apparat kein Eisen vor) von unten gegen den in Fig. 417 sichtbaren Haken angedrückt. Zu beiden Seiten dieses

Hakens befindet sich ein Messingplättchen, welches in Fig. 417 der Deutlichkeit wegen fortgeblieben ist, welches man aber in der perspectivischen Ansicht, Fig. 416 erkennt, und welches dazu dient, eine seitliche Bewegung der Fernrohraxe zu verhindern. Ferner geht von dieser, das Fernrohr tragenden Verlängerung noch ein Stäbchen *f* herab, welches zwischen eine Verlängerung des Ringes *R* und eine an demselben angeschraubte Messingfeder hineinpasst.

Dieser Ring *R*, welcher um den Träger des getheilten Kreises herumgelegt, um denselben sich frei drehen lässt, ist in Fig. 418 im Grundriss dargestellt. Durch Anziehen der Klemmschraube *S* wird der Ring *R* festgestellt und dadurch auch eine weitere Umdrehung der Scheibe *C* mit Allem, was daran befestigt ist, verhindert. Eine feinere Einstellung geschieht dann mittelst der Stellschraube *T*.

Fig. 418.



Auf die Scheibe *C* wird nun, nachdem man dieselbe mit Hülfe einer Wasserwage und der drei Stellschrauben der Platte *A* horizontal gestellt hat, das Magnetgehäuse aufgeschraubt.

Der Raum, in welchem das Magnetstäbchen selbst spielen kann, wird durch zwei an den Enden zugeschmolzene Glasröhrchen gebildet. Es wird von einem durch die Messingröhre *F*, Fig. 416, herabhängenden Seidenfaden getragen. Der Spiegel befindet sich unterhalb des Magnetes. Ihm gegenüber ist das Gehäuse, welches auch seitliche, mit Glasplatten geschlossene Oeffnungen hat, mit einer Platte von geschliffenem Spiegelglas geschlossen.

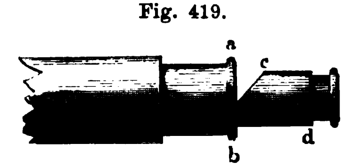
Der Magnet mit dem Spiegel hat die in Fig. 415 für sich allein abgebildete Einrichtung, wenn man sich das Stäbchen mit dem Haken wegdenkt, welches in Fig. 415 noch unter dem Spiegel angebracht ist.

Wenn man die Scheibe *C* sammt dem Magnetgehäuse um ihre verticale Axe so dreht, dass die horizontale Axe der beiden Glasröhren *ab* ungefähr in den magnetischen Meridian zu stehen kommt, so kann nun der Magnet frei spielen und sich in den magnetischen Meridian einstellen. Nehmen wir an, dass die Ebene des Spiegels genau rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnetstabes stände, so würde eine auf der Ebene des Spiegels normale Linie die Richtung des magnetischen Meridians angeben. Die Normale der Spiegelebene wird bei der richtigen Stellung des Apparates durch die Axe des Fernrohres bezeichnet, dessen eigenthümliche Einrichtung aus Fig. 419 (a. f. S.) deutlicher zu ersehen ist.

Das Objectiv des Fernrohres ist dem Spiegel zugewendet. Da wo das vom Objectiv entworfene Bild entsteht, bei *ab*, Fig. 419, ist das Rohr durch eine Glasplatte verschlossen, auf welcher eine senkrechte und eine wagerechte feine Linie eingeritzt sind, welche die Stelle des Fadenkreuzes vertreten. Das Ocular steckt in der Hülse *cd*, welche von oben her zur Hälfte eingeschnitten ist, so dass man in diesen Einschnitt eine Platte von unbelegtem Spiegelglas legen kann. Dieser kleine unbelegte Spiegel dient zur Erleuchtung des Fadenkreuzes. Ist der Apparat nahezu in die richtige Lage gebracht, so erblickt man, durch das Ocular schauend, den verticalen Strich einmal direct und dann noch sein Bild im Spiegel des Magnetes. Mit Hülfe der Stellschraube *T* kann man es aber nun leicht dahin bringen, dass die beiden Bilder des verticalen Striches zusammenfallen, und wenn dies der Fall ist, so steht in der That die Axe des Fernrohres normal auf der Spiegelebene; sie steht also im magnetischen Meridian, wenn die Spiegelebene rechtwinklig steht auf der magnetischen Axe des Magnetstabes.

Ist auf diese Weise die Axe des Fernrohres in die Ebene des magnetischen Meridians eingestellt, so wird der Nonius abgelesen, dann das Magnetgehäuse vom Theodolit abgehoben und die Scheibe *C* sammt dem Fernrohre um die verticale Axe gedreht, bis die Visirlinie des Fernrohres in dem astronomischen Meridian steht, bis es also auf ein für den Beobachtungsort bestimmtes Meridianzeichen gerichtet ist, und nun abermals der Nonius abgelesen. Der Unterschied dieser beiden Ablesungen ergiebt dann die gesuchte Declination.

Fig. 419.



Wenn, wie es wohl meistens der Fall ist, für den Ort, wo der magnetische Theodolit aufgestellt wurde, gerade kein Meridianzeichen vorhanden ist, so richtet man das Fernrohr auf irgend einen entfernten Punkt, dessen Azimut für den Beobachtungsort entweder schon bekannt ist, oder aus genauen Karten ermittelt werden kann, und bestimmt also den Winkel, welchen der magnetische Meridian mit der nach dem fraglichen Orte gerichteten Visirlinie macht.

So fand z. B. Lamont, als er am 7. October 1852 auf dem Schlossberge bei Freiburg seinen Theodolit aufgestellt hatte und die Visirlinie des Fernrohres rechtwinklig auf der Ebene des Magnetspiegels stand, dass der Nonius auf 308° 22,6′ zeigte. Nach Abnahme des Magnetgehäuses wurde das Fernrohr auf die Spitze des Kirchthurmes von Langendenzlingen (ungefähr zwei Stunden nördlich von Freiburg) gerichtet, und nun zeigte der Nonius auf 278° 14,3′; der Unterschied der beiden Ablesungen beträgt also 30° 8,3′.

Den Generalstabskarten zufolge liegt die Visirlinie von dem Beobachtungspunkte auf dem Schlossberge nach dem Kirchthurme von Denzlingen

noch 12° 43′ östlich vom astronomischen Meridian; diese 12° 43′ sind nun noch von 30° 8,3′ abzuziehen, und so bleibt also für die Declination der Werth 17° 25,3′.

Dies wäre der wahre Werth der Declination, wenn die Ebene des Spiegels absolut rechtwinklig auf der magnetischen Axe des Magnetes stände, was mit voller Genauigkeit nie erreichbar ist. Der magnetische Reisetheodolit ist nicht so eingerichtet, dass man den Magnet umlegen und alsdann mittelst einer zweiten Messung den Collimationsfehler eliminiren kann; dagegen ist die Grösse dieses Fehlers durch genaue Messung in einem magnetischen Observatorinm, für welches die Lage des magnetischen Meridians bereits ermittelt ist, ein- für allemal bestimmt. Für das fragliche Instrument, mit welchem Lamont die obigen Messungen ausführte, beträgt er + 14,5′, und diese sind noch zu 17° 25,3′ zu addiren, um den wahren Werth der Declination für Freiburg zu finden, welcher demnach für den Herbst 1852 17° 39,8′ war.

Bestimmung der Inclination. Die Inclination lässt sich 280
nicht so leicht direct mit Genauigkeit bestimmen wie die Declination, weil es ungemein schwierig ist, zuverlässige Inclinatorien zu construiren, weshalb denn auch diese Instrumente sehr kostspielig und für öfteren Transport wenig geeignet sind. Man hat deshalb auf mannigfache Weise versucht, die Inclination auf indirectem Wege zu bestimmen. Brugmann sprach zuerst die Idee aus, den durch den Erdmagnetismus im weichen Eisen inducirten Magnetismus zur Inclinationsbestimmung anzuwenden, und eine von Lloyd auf diese Idee gegründete Methode wurde bereits in dem Lehrbuche der Physik (9. Aufl., Bd. III, S. 52) besprochen.

In anderer Weise hat Lamont die magnetische Induction im weichen Eisen benutzt, um an seinem magnetischen Reisetheodolit eine Vorrichtung zur indirecten Bestimmung der magnetischen Inclination anzubringen.

In Fig. 420 (a. f. S.) ist das Magnetgehäuse sammt der Inclinationsvorrichtung dargestellt. Auf das Magnetgehäuse wird zunächst eine Messingplatte aufgesetzt, welche eine Hülse *h* zum Einstecken eines Thermometers *t* trägt. Auf diese Scheibe wird der massive Messingring *NN* aufgesetzt, welcher, oben und unten eben abgeschliffen, überall möglichst von gleicher Dicke ist; dieser Ring trägt seitlich zwei Arme, von denen der eine aufwärts, der andere abwärts gerichtet ist.

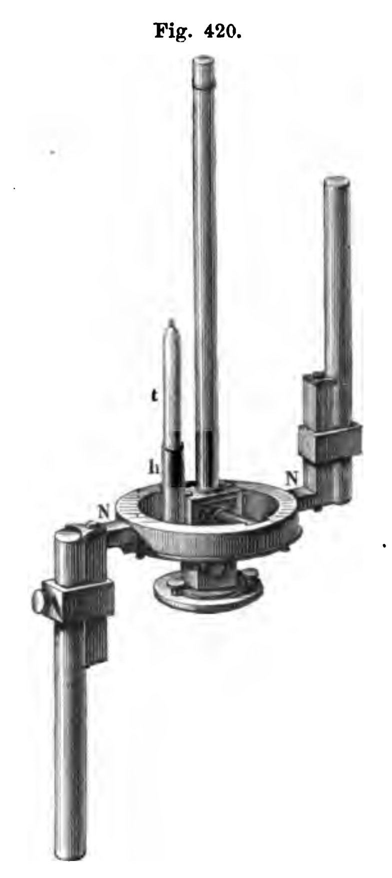
In diese zwei Arme werden zwei runde Stäbe von weichem Eisen eingesteckt und mittelst entsprechender Schrauben festgeklemmt.

Bevor man den Ring mit den Eisenstäben aufsetzt, wird das Instrument gerade so eingestellt, wie zu einer Declinationsbestimmung, d. h. so, dass, wenn man in das Fernrohr schaut, das durch den Magnetspiegel reflectirte Bild des verticalen Striches mit dem direct gesehenen zusammenfällt. Nun wird der Ring mit den Eisenstäben auf das Magnet-

gehäuse gesetzt, und zwar so, dass die Verticalebene der beiden Stäbe durch die Mitte des Magnetstäbchens gehend, auf dem magnetischen Meridian rechtwinklig steht.

In der Höhe des Magnetstäbchens befindet sich nun auf der einen Seite ein Nordpol (das untere Ende des nach oben gekehrten Eisenstabes), auf der anderen ein Südpol (das obere Ende des nach unten gekehrten Eisenstabes), und diese beiden magnetischen Pole bewirken in gleichem Sinne eine Ablenkung des Magnetstäbchens aus dem magnetischen Meridian. Die Grösse dieser Ablenkung erfährt man, wenn man die Platte C, Fig. 417, sammt Allem, was darauf und daran befestigt ist, um ihre verticale Axe dreht, um dem abgelenkten Magnetstäbchen zu folgen, bis die Axe des Fernrohrs wieder rechtwinklig steht auf der Ebene des Magnetspiegels, bis also die beiden Bilder des verticalen Striches wieder zusammenfallen, wenn man in das Ocular des Fernrohrs hineinschaut.

Fig. 420.



Liest man jetzt den Nonius abermals ab, so giebt die Differenz dieser und der ersten Ablesung die Grösse des Winkels, um welchen das Magnetstäbchen durch den Einfluss des in den beiden Eisenstäben inducirten Magnetismus aus dem magnetischen Meridian abgelenkt worden ist. Wir wollen diesen Ablenkungswinkel mit v bezeichnen und zunächst sehen, in welchem Zusammenhange der Werth dieses Winkels v mit der Inclination i steht.

Es sei X die horizontale und Y die verticale Componente des Erdmagnetismus, so ist die Kraft, mit welcher der horizontale Erdmagnetismus das um den Winkel v aus dem magnetischen Meridian abgelenkte Magnetstäbchen in denselben zurückzuziehen strebt, gleich $X \sin v$.

Der in den beiden Eisenstäben inducirte Magnetismus, also auch das Drehungsmoment, welches sie auf das Magnetstäbchen ausüben, ist aber dem verticalen Erdmagnetismus proportional, dieses Drehungsmoment ist also KY, wenn durch K ein constanter Factor bezeichnet wird. Dieses Drehungsmoment hält aber der Kraft das Gleichgewicht, mit welcher der

horizontale Erdmagnetismus das abgelenkte Magnetstäbchen nach dem magnetischen Meridian zurückzieht; wir haben also

$$X \sin v = K Y.$$

Setzt man die Inclination gleich i, so ist $Y = X \operatorname{tang} i$, folglich auch

$$\operatorname{tang} i = \frac{1}{K} \sin v.$$

Man erhält also die Tangente der Inclination, wenn man den Sinus der durch die verticalen eisernen Stäbe bewirkten Ablenkung mit einem constanten Factor $\frac{1}{K}$ multiplicirt, dessen Werth für ein bestimmtes Paar von Eisenstäben dadurch ermittelt wird, dass man für denselben Ort an einem zuverlässigen Inclinatorium die Inclination i und an dem magnetischen Theodolit die entsprechende, durch die verticalen Eisenstäbe bewirkte Ablenkung v abliest.

So fand Lamont im Jahre 1850 die Inclination in München gleich $64^0\,59{,}5'$ und die entsprechende, durch die Eisenstäbe am magnetischen Theodolit bewirkte Ablenkung gleich $20^0\,18{,}4'$; es ist demnach

$$\frac{1}{K} = \frac{\operatorname{tang}\, 64^0\,59{,}5'}{\sin\, 20^0\,18{,}4'} = 6{,}177.$$

Ist einmal dieser Factor für ein bestimmtes Instrument mit bestimmten Eisenstäben ermittelt, so reicht an einem anderen Orte nur die Beobachtung der Ablenkung v hin, um aus derselben die entsprechende Inclination zu berechnen. Im Jahre 1850 fand z. B. Lamont zu Aschaffenburg mit seinem Instrumente die fragliche Ablenkung gleich $22^0\,1'$; für Aschaffenburg wäre demnach

$$\operatorname{tang} i = 6{,}177 \,.\, \sin\, 22^0\,1'$$

und danach

$$i = 66^0\,38{,}5'.$$

Es ist bisher nur von einer einmaligen Beobachtung der durch den inducirten Magnetismus der Eisenstäbe hervorgebrachten Ablenkung die Rede gewesen; da aber die Eisenstäbe nie absolut frei von permanentem Magnetismus sind, so ist es nothwendig, die Beobachtung in der Weise zu vervielfältigen, dass dadurch ein vom permanenten Magnetismus herrührender, sowie sonstige Fehler möglichst eliminirt werden; es geschieht dies dadurch, dass man in der Stellung der Eisenstäbe gegen das Magnetstäbchen so viel Variationen macht als möglich.

Es stelle Fig. 421 (a. f. S.) die erste Stellung dar, für welche man die Ablenkung beobachtet hat, so erhält man eine entsprechende Ablenkung nach der entgegengesetzten Seite, wenn man den Ring in seiner Ebene um 180^0 dreht, so dass nun die Eisenstäbe in die Position Fig. 422 (a. f. S.) gegen die Magnetstäbchen kommen.

Kehrt man nun den Ring so um, dass die bisher untere Fläche die obere wird, so erhält man eine dritte Stellung der Eisenstäbe, Fig. 423, und eine vierte, Fig. 424 endlich, wenn man den Ring wieder in seiner Ebene um 180° dreht.

Bei diesen vier Stellungen waren die Eisenstäbe stets in gleicher Weise eingeklemmt; nun aber kann man jeden in seinem Halter umkehren, so dass die Stabenden *b* und *d* in die Horizontalebene des Magnetstäbchens kommen. Nach dieser Veränderung wiederholt man die Beobachtung in den eben besprochenen vier Stellungen und erhält so für die gesuchte Ablenkung acht Beobachtungen, aus denen man das Mittel nimmt.

Die Stärke der magnetischen Induction in den Eisenstäben ist von der Temperatur abhängig, ausserdem aber nimmt die Inductionsfähigkeit des weichen Eisens, welche unmittelbar nach dem Ausglühen am grössten ist, allmählich ab, und diese beiden Umstände machen bei der Berechnung der Inclination Correctionen nöthig, welche nicht unbeachtet bleiben dürfen, wenn es auf grosse Genauigkeit ankommt. In Beziehung auf diese Correctionen müssen wir auf die von Lamont in seiner „Beschreibung der an der Münchener Sternwarte verwendeten neuen Instrumente und Apparate“ gegebene Auseinandersetzung verweisen.

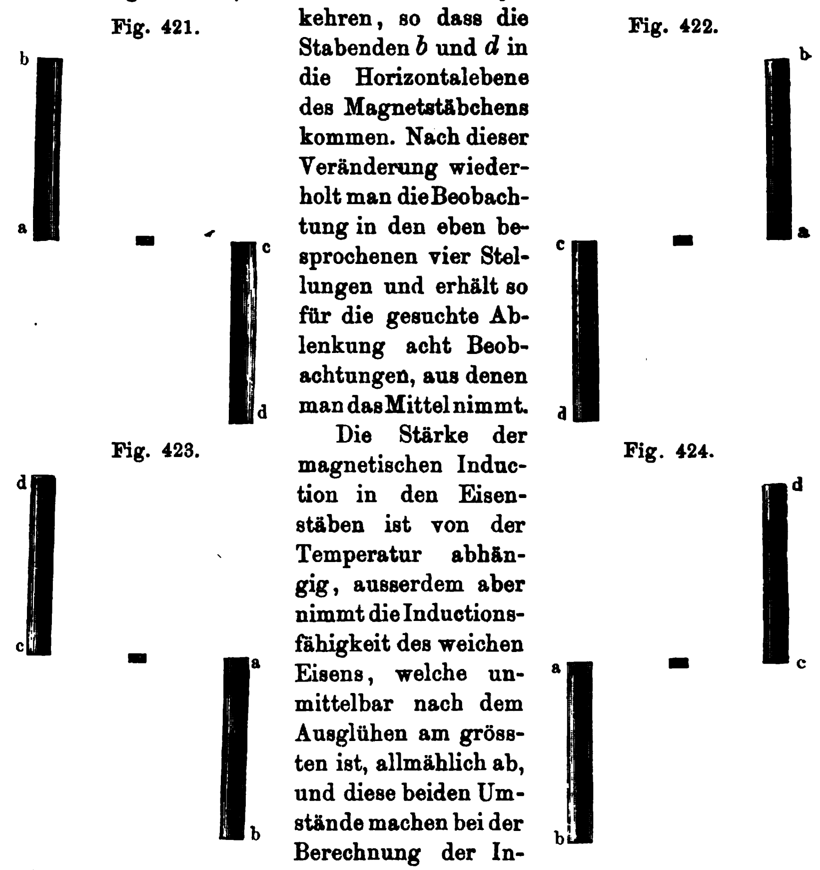


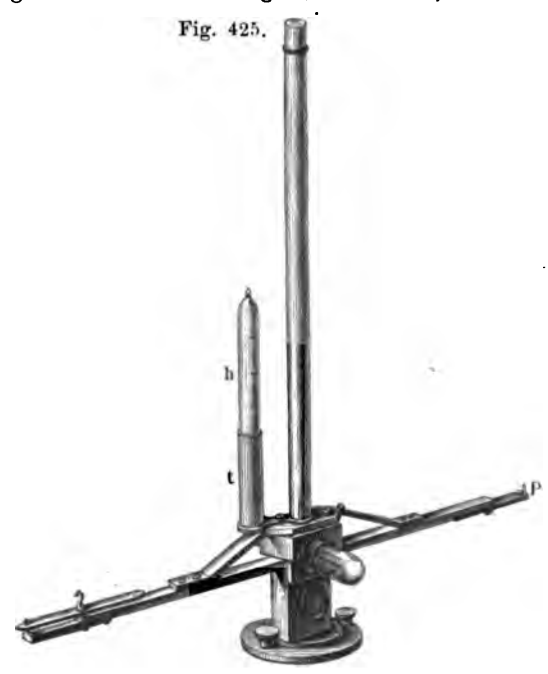
Fig. 421. Fig. 422. Fig. 423. Fig. 424.

281 **Bestimmung der horizontalen Intensität.** Die Methode, welche man anzuwenden hat, um die horizontale Intensität nach absolutem Maasse zu bestimmen, ist bereits im Lehrbuch der Physik besprochen worden. An seinem magnetischen Theodolit hat nun Lamont

diejenigen Vorrichtungen angebracht, welche zu einer solchen Bestimmung der Intensität nothwendig sind.

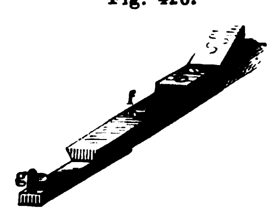
Die Bestimmung der Intensität nach absolutem Maasse erfordert zwei gesonderte Beobachtungen, nämlich 1) die Beobachtung der Ablenkung, welche ein Magnetstab an einer Declinationsnadel bewirkt, und 2) die Beobachtung der Schwingungen, welche das Ablenkungsstäbchen unter dem Einfluss des Erdmagnetismus macht.

Fig. 425.



Für die Ablenkungsversuche wird an dem magnetischen Theodolit eine Ablenkungsschiene *PP* aufgesetzt, wie man es Fig. 425 sieht, und nachdem das Instrument so eingestellt worden ist, dass die Axe des Fernrohrs normal steht auf der Ebene des Magnetspiegels, und man für diese Stellung den Nonius abgelesen hat, wird nun der Ablenkungsmagnet an dem einen Ende der Schiene aufgelegt. — Damit er immer genau auf dieselbe Stelle kommt, ist auf der Schiene, wie man Fig. 426 sieht, welche das eine Ende der Schiene in grösserem Maassstabe darstellt, ein Knopf *f* und am Ende derselben eine kleine Feder *g* befestigt, welche genau in ein Loch am Ende des Magnetstäbchens passt.

Fig. 426.



Hat man die dieser Stellung des Magnets entsprechende Ablenkung abgelesen, so wird der Ablenkungsmagnet so umgelegt, dass sein Nordpol dahin kommt, wo eben sein Südpol lag, und umgekehrt, und abermals die nun nach entgegengesetzter Seite gerichtete Ablenkung abgelesen. Ist dies geschehen, so wird der Ablenkungsmagnet auf das entgegengesetzte Ende der Ablenkungsschiene gebracht und für die dort möglichen beiden Stellungen des Ablenkungsmagnets ebenfalls die entsprechende Ablenkung abgelesen. So erhält man für die Ablenkung vier Werthe, aus denen das Mittel genommen und in Rechnung gebracht wird.

Die Gesammtlänge der Ablenkungsschiene beträgt 34, die Länge des Ablenkungsmagnets beträgt 8 cm.

Um die Schwingungsversuche zu machen, wird der Ablenkungsmagnet mittelst eines ungedrehten Seidenfadens an einem messingenen Säulchen s, Figur 427, aufgehängt. Um den Magnet vor störenden Luftströmungen zu schützen, wird das Messingsäulchen in ein Holzkästchen *kk* eingesetzt, welches oben mit einer Glasplatte zugedeckt wird. Unsere Figur zeigt die ganze Vorrichtung in $^1/_2$ der natürlichen Grösse, und zwar gerade in der Mitte durchschnitten. Die Mitte dieser Glasplatte ist durchbohrt, so dass das Messingstäbchen und der die Nadel tragende Faden hindurchgeht. Um den Rand dieser Oeffnung ist ein Schraubengewinde aufgekittet, auf welches die Messinghülse *h* aufgeschraubt wird, durch welche auch der Seidenfaden vor störendem Luftzug geschützt ist.

Fig. 427.

Eine Combination der Ablenkungs- und Schwingungsversuche zur Berechnung der Intensität nach absolutem Maass wandte jedoch **Lamont** auf Reisen nie an, sondern er machte entweder nur Ablenkungs- oder nur Schwingungsbeobachtungen und berechnete die Intensität durch Vergleichung mit den entsprechenden in dem Münchener Observatorium angestellten Beobachtungen.

Sind T und v die zusammengehörigen Werthe der horizontalen Intensität und der Ablenkung, so haben wir

$$\frac{M}{T} = r^3 \, tang \, v \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

wenn M die Stärke des Stabmagnetismus bezeichnet. Für einen anderen Ort, dessen horizontale Intensität T' ist, sei die entsprechende, durch dasselbe Magnetstäbchen an demselben Instrument bewirkte Ablenkung v', so ist

$$\frac{M}{T'} = r^3 \, tang \, v' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2)$$

und wenn man die Gleichung 2) in die Gleichung 1) dividirt,

$$\frac{T'}{T} = \frac{tang\ v}{tang\ v'},$$

oder

$$T' = T\frac{tang\ v}{tang\ v'};$$

kennt man also T, v und v', so kann man nach dieser Formel T' berechnen.

So fand man z. B. die zusammengehörigen Werthe von T und v im Jahre 1850 zu München gleich 1,952 und 49° 50'. Mit demselben Reisetheodolit und demselben Magnetstäbchen ergab sich zu Aschaffenburg eine Ablenkung von 51° 50', die horizontale Intensität T' für Aschaffenburg ist demnach

$$T' = 1{,}952 \cdot \frac{tang\ 49^0 50'}{tang\ 51^0 50'} = 1{,}859.$$

Hier ist als Längeneinheit das Millimeter, als Masseneinheit das Milligramm, und als Zeiteinheit die Secunde gewählt. Nimmt man als Einheiten resp. das Centimeter, das Gramm und die Secunde, so muss die gefundene Zahl noch durch 10 dividirt werden; es ergiebt sich dann $T = 0{,}1952$ und $T' = 0{,}1859$. (Siehe Lehrbuch der Physik, 9. Aufl., Bd. III, §. 39 und 40.)

Für die genaue Berechnung der horizontalen Intensität sind nun gleichfalls Correctionen wegen der Temperatur u. s. w. nöthig, welche hier nicht weiter besprochen werden können.

Die magnetischen Constanten verschiedener Orte. Im 282
Verlaufe des jetzigen Jahrhunderts sind nicht allein zahlreiche magnetische Observatorien errichtet, sondern es sind auch durch magnetische Expeditionen die magnetischen Constanten an den verschiedensten Orten der Erde bestimmt worden. In Deutschland war namentlich Lamont seit 1849 rastlos bemüht gewesen, die magnetischen Constanten verschiedener Orte zu ermitteln, und hat die Resultate magnetischer Excursionen in einem eigenen Werke: „Magnetische Ortsbestimmungen, ausgeführt an verschiedenen Punkten des Königreichs Bayern und an einigen anderen Stationen, München 1854“, publicirt.

In den Jahren 1856 und 1857 unternahm Lamont eine magnetische Expedition nach Frankreich und Spanien; im Jahre 1858 aber eine solche nach dem nördlichen Deutschland, Belgien, Holland und Dänemark. Den Bericht über diese Reisen und die Resultate derselben hat er in seinen „Untersuchungen über die Richtung und Stärke des Erdmagnetismus u. s. w., München 1858 und 1859“ niedergelegt.

Später sind höchst wichtige magnetische Beobachtungen während der englischen Challenger- und der deutschen Gazelle-Expedition ausgeführt worden, ferner während der norwegischen Expedition unter

Leitung von Mohn und Wille, der holländischen Expedition des Schiffes „Willem Barendtz", der schwedischen Expedition des Schiffes „Vega" unter Leitung von Nordenskjöld und vor allem der Polarexpeditionen der Jahre 1882 bis 1883. Eine grossartige erdmagnetische Vermessung wird seit Jahren in Nordamerika ausgeführt, in Gemeinschaft mit der dortigen Landesvermessung; ferner wurde der Ostindische Archipel durch Elliot, später durch Rijckevorsel magnetisch aufgenommen, ferner Nordasien, China und die Mongolei durch Fritsche, Japan durch Naumann, ein Theil von Südaustralien durch Neumayer und Brasilien von Rijckevorsel. Von amerikanischen Gelehrten ist endlich eine Anzahl magnetischer Beobachtungen auf den Inseln und Küsten des westlichen Afrika ausgeführt worden.

Auch in Europa sind während der letzten Jahre viele magnetische Beobachtungen ausgeführt, namentlich in Italien, Ungarn, Frankreich, England, Belgien und Russland. Im nordwestlichen Deutschland wurden die magnetischen Elemente zahlreicher Orte durch Eschenhagen bestimmt, ferner das Küstengebiet zwischen Elbe und Oder durch Schaper, und zahlreiche Orte an den deutschen Küsten durch Beamte der Seewarte in Hamburg und des Observatoriums in Wilhelmshaven. An letztgenanntem Orte sowie in Göttingen werden fortdauernd magnetische Beobachtungen aufgezeichnet. Solcher permanenter magnetischer Stationen giebt es jetzt auf der Erde 34, und zwar in Europa 20, Asien 4, Afrika 3, Amerika 6 und Australien 1.

Die folgende Tabelle enthält die magnetischen Constanten für eine Reihe von Orten, nebst Angabe des Jahres ihrer Bestimmung.

Namen des Ortes	Jahr	Declination	Inclination	Horizontale Intensität
I. Deutschland, Oesterreich und die Schweiz.				
Aachen	1888	14° 27,4′	66° 29,4′	0,1885
Altona	1888	12 32,6	67 47,9	0,1805
Amrum	1888	13 41,9	—	0,1751
Aschaffenburg	1850	17 28,6	66 43,4	0,1855
Augsburg	1850	16 15,0	65 14,9	0,1937
Basel	1885	13 38,0	63 47,0	0,2170
Berlin	1885	10 51,6	66 55,7	0,1855
Bochum	1888	13 52,8	66 45,0	0,1866
Bonn	1888	13 58,7	66 14,4	0,1895
Borkum	1888	14 19,7	68 18,6	0,1778
Brake	1888	13 45,0	67 52,2	0,1810
Braunschweig	1888	12 6,6	67 59,4	0,1854
Bregenz	1845	17 20,0	64 56,0	0,1950
Bremen	1888	13 12,6	67 36,6	0,1810
Breslau	1885	9 0,1	65 28,4	0,1925

Namen des Ortes	Jahr	Declination	Inclination	Horizontale Intensität
Cassel	1888	12° 40,3′	66° 23,4′	0,1888
Cleve	1888	14 27,2	67 3,6	0,1847
Crefeld	1888	14 17,5	66 46,8	0,1870
Cuxhaven	1888	13 9,9	68 3,4	0,1789
Darmstadt	1850	17 9,9	66 59,4	0,1820
Detmold	1888	13 7,6	66 49,8	0,1859
Emden	1888	14 15,5	68 5,4	0,1788
Freiburg	1850	17 39,3	65 28,4	0,1984
Giessen	1888	13 6,2	65 58,8	0,1916
Göttingen	1888	12 28,5	66 29,9	0,1881
Gotha	1888	12 8,9	66 1,8	0,1910
Halle	1888	11 21,4	66 10,2	0,1911
Hannover	1888	12 45,6	67 0,6	0,1849
Hermannstadt	1845	10 6,0	61 21,0	0,2171
Iserlohn	1888	13 25,9	66 36,6	0,1869
Kiel	1873	14 18,4	68 19,9	0,1748
Köln	1888	13 57,4	66 23,4	0,1888
Königsberg	1889	6 33,6	68 25,9	0,1774
Krakau	1845	12 15,0	65 27,0	0,1931
Leipzig	1888	11 19,2	65 59,8	0,1912
List	1888	13 48,2	—	0,1740
Lübeck	1888	12 17,3	67 59,8	0,1782
Magdeburg	1888	11 42,1	66 52,6	0,1870
Marburg	1888	13 6,0	66 8,4	0,1902
Meppen	1888	13 50,4	67 37,8	0,1819
München	1871	13 19,0	64 0,0	0,2009
Münster	1888	13. 41,9	67 2,4	0,1853
Norderney	1888	14 15,5	68 4,8	0,1784
Nürnberg	1850	16 19,5	65 54,8	0,1902
Ofen	1845	12 52,0	63 20,0	0,2036
Oldenburg	1888	13 30,2	67 45,0	0,1803
Prag	1850	14 38,3	66 52,0	0,1892
Speyer	1850	17 35,6	66 20,8	0,1881
Wien	1850	13 33,5	64 22,0	0,1995
Wilhelmshaven	1888	13 34,3	67 59,7	0,1789

II. Grossbritannien, Frankreich, Belgien, Holland.

Brüssel	1885	15° 36′	66° 34′	0,1869
Dublin	1845	27 0	69 41	0,1869
Greenwich	1850	22 30	68 48	0,1739
Leiden	1845	20 52		0,1723
Paris	1885	16 15	65 18	0,1942
Utrecht	1885	15 15	67 19	0,1822

Namen des Ortes	Jahr	Declination	Inclination	Horizontale Intensität
III. Russland und die Skandinavischen Länder.				
Barnaul	1875	— 9° 51′	69° 20′	0,1998
Godthaab	1883	+ 57 45	80 15	0,0968
Jan Mayen	1882	+ 29 53	79	0,0977
Jecatharinenburg	1874	— 8 41	70 33	0,1776
Irkutsk	1875	— 2 49	69 51	0,2015
Kasan	1867	— 6 1	68 28	—
Nertschinsk	1875	+ 4 59	68 9	0,2129
Petersburg	1874	+ 1 45	70 43	0,1634
Sabine-Insel	1870	+ 45 7	79 42	0,1049
Spitzbergen	1840	+ 25 12	81 11	0,0836
Tiflis	1845	+ 1 32	—	0,2554
Uperniwik	1861	+ 72 33	—	—
IV. Südeuropa.				
Gibraltar	1840	21° 41′	59° 40′	0,2289
Lissabon	1886	18 39	—	0,2315
Mailand	1845	17 0	63 13	0,2037
Malta	1879	10 36	52 15	0,2625
Neapel	1879	10 56	—	—
Palermo	1835	16 3	57 16	0,2435
Piräus	1886	7 13	52 28	0,2612
Venedig	1845	14 4	64 22	0,2036
V. Afrika.				
Algier	1842	18° 35′	+ 57° 21′	0,2373
Cap der guten Hoffnung	1890	29 36	— 57 15	0,1918
Georgetown (Ascension)	1890	22 36	— 11 38	0,2755
Horta (Azoren)	1889	25 52	+ 64 14	0,2073
Jamestown (St. Helena)	1890	23 57	— 29 39	0,2493
Loanda	1889	17 46	— 34 11	0,2633
Mauritius	1875	9 42	— 55 14	0,2428
Porto Grande	1889	20 45	+ 42 12	0,2738
Sierra Leone	1889	19 17	+ 15 24	0,3193
VI. Südasiatische Länder.				
Batavia	1870	— 1° 44′	+ 27° 24′	0,4212
Bombay	1871	— 0 50	+ 19 9	0,2830
Macao	1841	— 0 35	+ 30 1	0,3428
Madras	1837	—	+ 6 52	0,3577
Manilla	1840	— 0 18	+ 16 27	0,3709
Singapore	1841	— 1 39	— 12 1	0,3671

Namen des Ortes	Jahr	Declination	Inclination	Horizontale Intensität
VII. Australien und Polynesien.				
Auckland-Inseln	1875	— 16° 52′	— 73° 39′	0,1778
Bai of Island (Neuseeland)	1842	— 13 36	— 59 32	—
Hobartown	1846	— 9 55	— 70 36	0,2070
King George's Sound . . .	1845	— 5 33	— 65 4	—
Point Venus (Otaheiti) . .	1840	— 6 30	— 30 18	0,3417
Port Louis (Falklands-Inseln)	1842	— 17 36	— 52 26	—
Sydney	1842	— 9 51	— 62 49	0,2712
VIII. Nordamerika.				
Acapulco	1880	— 7° 57′	40° 8′	0,3466
Albany	1879	+ 9 52	74 19	0,1681
Belfast	1863	+ 15 30	75 38	0,1535
Cambridge	1879	+ 11 46	73 48	0,1709
Chicago	1888	— 4 7		
Cincinnati	1880	— 2 14	70 25	0,2069
Denver	1878	— 14 40	67 31	0,2291
San Francisco	1881	— 16 18	62 25	0,2550
Halifax	1879	+ 20 43	74 39	0,1592
Kingua Fjord	1883	+ 72 19	83 51	0,0641
Madison	1881	— 6 21	73 48	0,1797
Mazatlan	1881	— 9 39	48 16	0,3250
Montreal	1879	+ 13 40	76 26	0,1471
Mt. Hamilton	1888	— 15 50		
Nain (Labrador)	1881	+ 44 50	78 22	0,1202
New-Haven	1844	+ 5 45	73 21	0,1760
New-Orleans	1880	— 6 28	59 49	0,2838
New-York	1872	+ 8 46	72 36	0,1836
Philadelphia	1877	+ 6 2	71 41	0,1942
Quebek	1879	+ 17 14	76 45	0,1431
Richmond	1856	+ 0 15	69 48	0,2125
Sitka	1881	— 29 11	75 17	0,1518
Unalashka	1867	— 19 47		
Veracruz	1880	— 7 26	44 45	0,3408
Washington	1889	+ 4 15	70 26	0,2550
IX. Mittel- und Südamerika.				
Arica	1883	— 10° 0′	— 12° 46′	0,2895
Buenos Ayres	1883	— 9 32	—	—
Callao	1883	— 9 58	— 6 0	0,3083
Gallopagos-Inseln	1839	— 9 30	+ 9 29	
Süd Georgien	1883	— 0 10	— 48 53	0,2568
Havana	1879	— 3° 54′	+ 52° 18′	0,3157
Martinique	1885	+ 0 46	+ 44 51	0,3117
Montevideo	1882	— 8 14	— 29 20	0,2636
Orange-Bay (Cap Horn) .	1883	+ 20 12	— 52 58	0,2854
Panama	1837	— 7 2	+ 31 52	0,3575
Punta Arenas	1876	— 22 15	— 52 56	0,2861
Rio de Janeiro	1882	+ 4 39	— 12 0	0,2592
Santiago de Chile	1882	—	— 33 27	0,2778
Valparaiso	1882	— 15 26	—	—

In dieser Tabelle bezeichnet — eine östliche Declination und eine südliche Inclination, das Zeichen + dagegen oder kein Vorzeichen westliche Declination und nördliche Inclination.

283 **Magnetische Curven.** So wie durch die Isothermen die Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche anschaulich gemacht wird, so lassen sich auch die magnetischen Verhältnisse durch entsprechende Curvensysteme darstellen. Die Wirkung, welche der Erdmagnetismus an irgend einem Orte der Erde ausübt, ist durch Declination, Inclination und Intensität bestimmt und dem entsprechend hat man auf Karten drei verschiedene Systeme magnetischer Curven aufgetragen, welche man die isogonischen, die isoklinischen und die isodynamischen genannt hat.

Die isogonischen Linien sind diejenigen, für welche in allen Punkten die Declination dieselbe ist; solche Karten, in welche man die isogonischen Linien aufgetragen hat, nennt man Declinationskarten. Die erste Karte der Art hatte Halley im Jahre 1700 construirt. In einem Werke, welches im Jahre 1819 unter dem Titel „Untersuchungen über den Erdmagnetismus“ erschien, publicirte Hansteen eine Reihe von Declinationskarten, welche er nach dem vorhandenen Beobachtungsmaterial für verschiedene Zeitpunkte, unter anderen auch für die Jahre 1600, 1700 und 1800 construirt hatte. Die Vergleichung dieser Karten zeigt deutlich, wie sich die Lage der isogonischen Linien im Laufe der Zeit verändert. Fig. 428 ist eine verkleinerte Copie der Hansteen'schen Declinationskarte für das Jahr 1600. Die punktirten Curven sind Linien gleicher östlicher Declination. Die nach Graden gemessene Grösse der Declination ist jeder Curve beigeschrieben.

Fig. 429 (a. S. 836) stellt den Lauf der isogonischen Linien für das Jahr 1860 dar, während Fig. 430 (a. S. 837) dieselben darstellt, wie sich ihr Lauf aus den nach der Gauss'schen Theorie des Erdmagnetismus ergiebt, von welcher alsbald die Rede sein wird. — Die Karten Fig. 428 bis 430 stellen die Erdoberfläche in Merkatorprojection vom 80. Grade nördlicher bis zum 60. Grade südlicher Breite dar. Solche Karten können der Natur der Sache nach die beiden Erdpole nicht enthalten. Will man den Verlauf der isogonischen Linien in der Nähe der Pole verfolgen, so muss man Karten in Polarprojection anwenden, wie die Karten Fig. 431 u. 432 (a. S. 838), deren eine die Umgebungen des Nordpols, die andere die Umgebungen des Südpols bis zum 60. Breitengrade mit den isogonischen Linien für 1835 darstellt.

Tab. L, LI und LII des Atlas geben nach Neumayer die Isogonen für 1885,0 und zwar Tab. L in Merkatorprojection, und Tab. LI und LII in Polarprojection resp. für die Umgebungen des Nord- und Südpols.

Eine Linie ohne Abweichung, d. h. eine solche Linie, auf welcher überall die Richtung der horizontalen Magnetnadel mit der Richtung des astronomischen Meridians zusammenfällt, schnitt 1835 die östliche Spitze von Südamerika ab, lief östlich von Westindien durch den Atlantischen Ocean, um in der Gegend von Philadelphia in den Continent von Amerika einzutreten und durch die Hudsonsbai hindurch zu laufen; dann passirte diese Linie ohne Abweichung den magnetischen und den astro-

nomischen Nordpol der Erde, trat östlich vom Weissen Meere in den Continent der Alten Welt ein, ging am Caspischen Meer vorbei, schnitt die Ostspitze von Arabien ab, wandte sich dann nach Neuholland, um

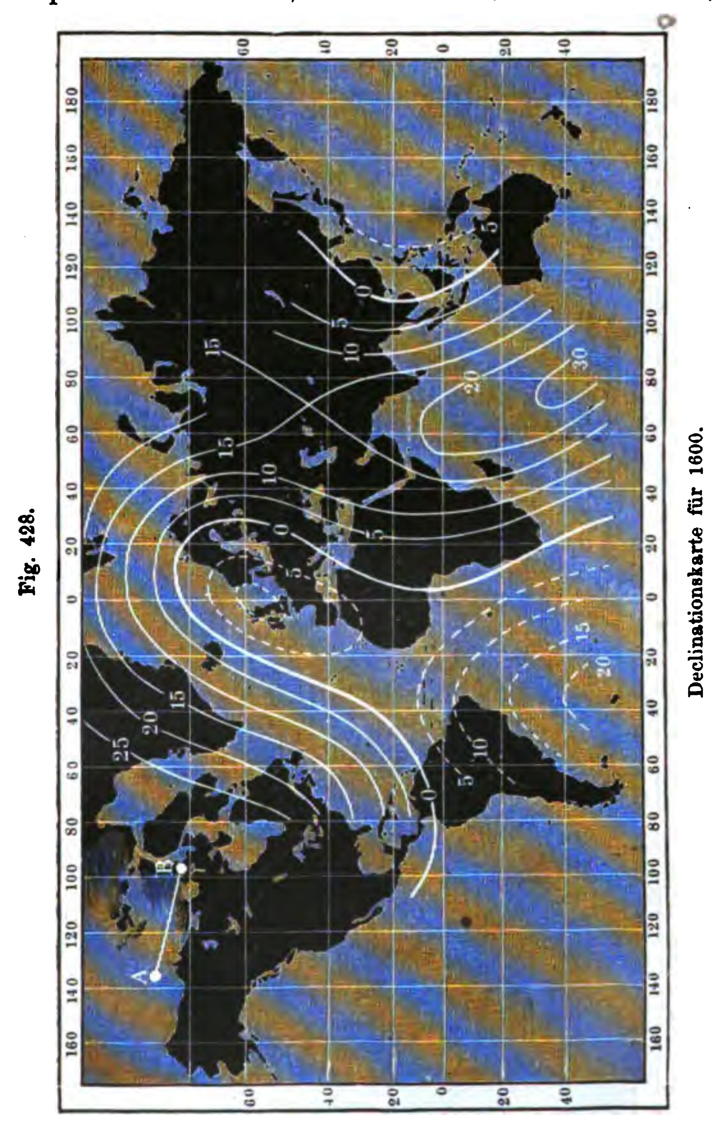


Fig. 428. Declinationskarte für 1600.

endlich durch den magnetischen und astronomischen Südpol der Erde in sich selbst zurückzulaufen.

In der Karte Fig. 430 (a. S. 837) erscheinen zwei Stücke dieser Linie getrennt von einander; die Verbindungsstücke dieser beiden Theile

kann man auf den Karten Fig. 431 und 432 verfolgen; der Verlauf der Linie für 1885 ist aus den Tafeln L, LI und LII des Atlas zu ersehen.

Diese Linie ohne Abweichung, welche um die ganze Erde herumläuft, theilt die Erdoberfläche in zwei Theile; auf der einen Hälfte, näm-

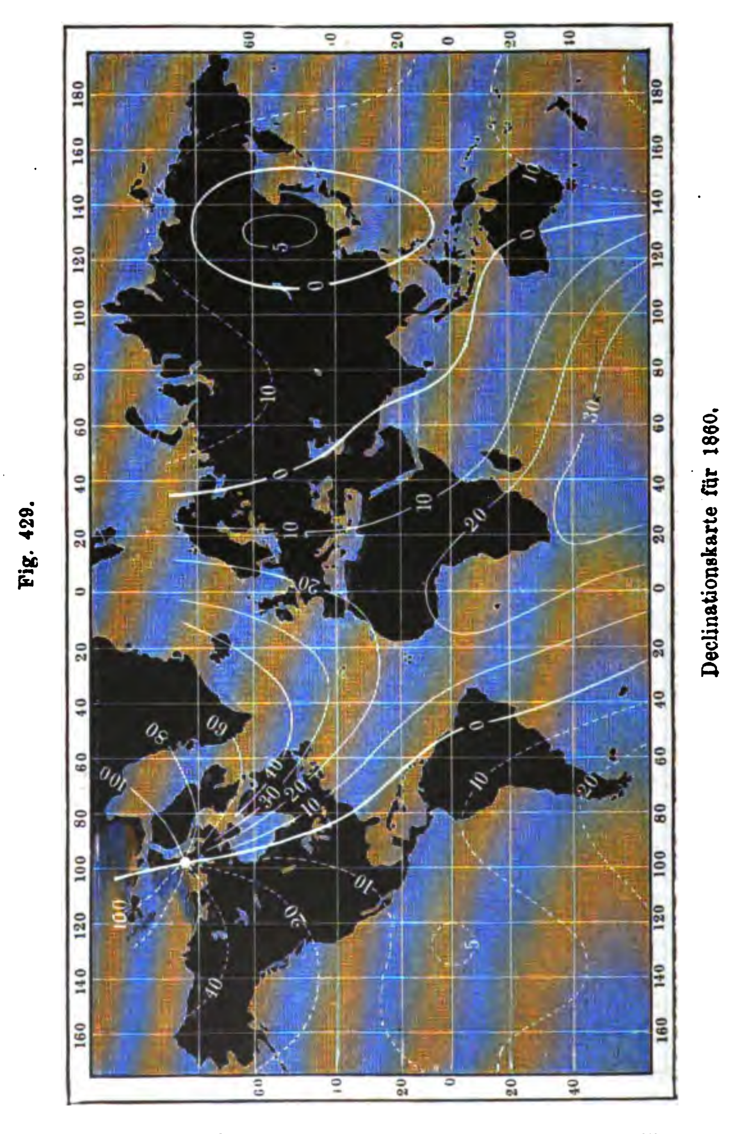


Fig. 429.

Declinationskarte für 1860.

lich auf dem Atlantischen Ocean, dem grössten Theile von Europa und in Afrika, ist die Abweichung der Magnetnadel eine westliche; auf der anderen Hälfte ist die Abweichung östlich, mit Ausnahme einer

kleinen Strecke im östlichen Asien und dem angrenzenden Meere, denn hier findet sich eine zweite in sich selbst zurücklaufende Linie, für welche die Abweichung Null ist, und auf dem durch diese Curve eingeschlossenen Raume ist die Abweichung wieder westlich.

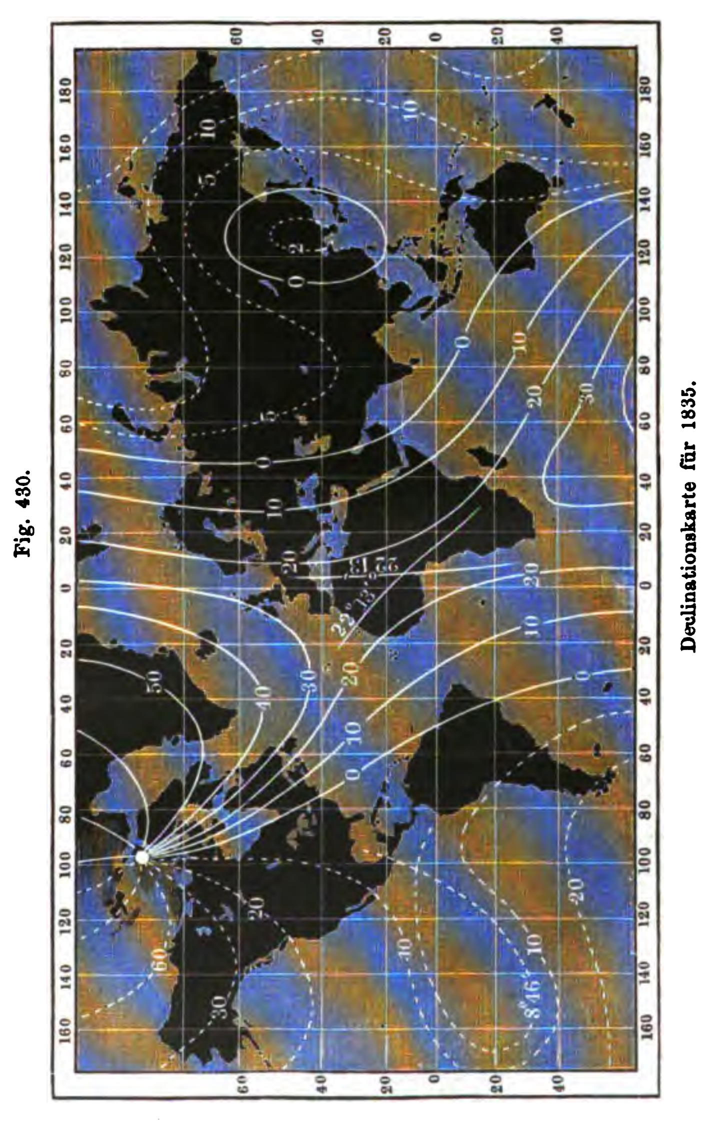
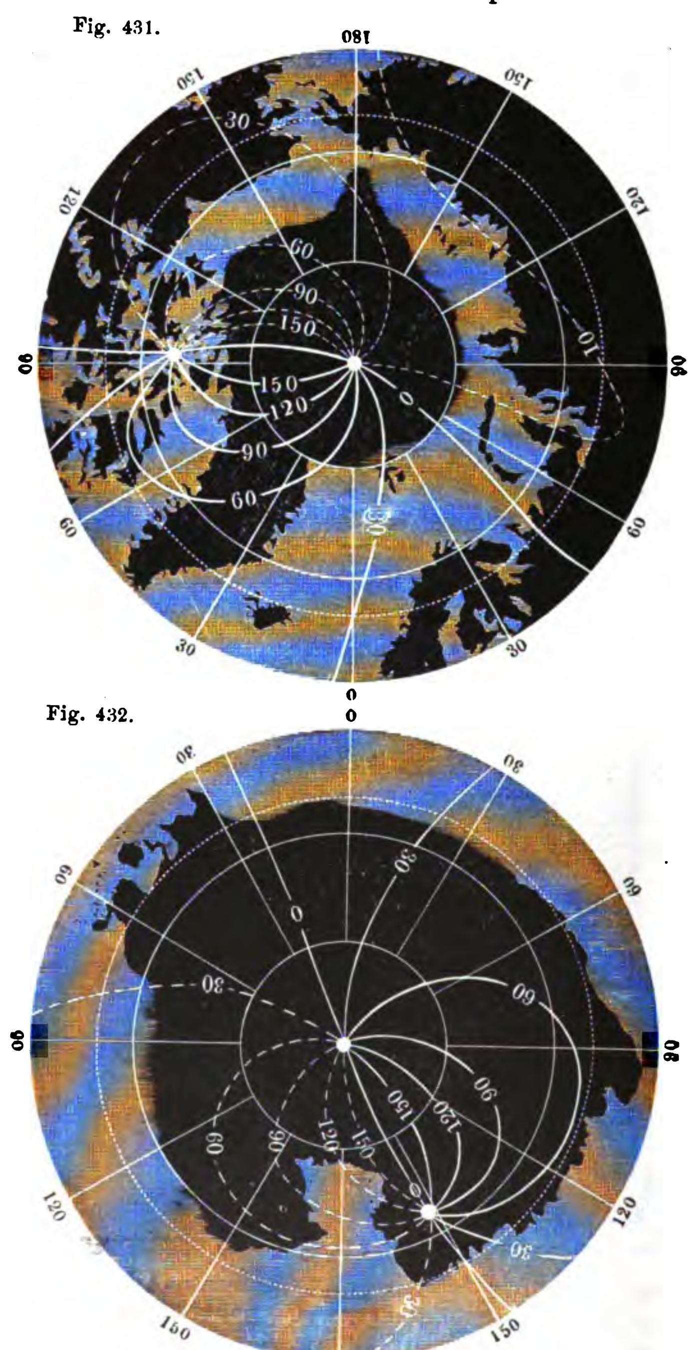


Fig. 430. Declinationskarte für 1835.

In der Nähe der Pole bilden die isogonischen Linien ein ziemlich complicirtes System, indem sie in zwei Punkten, nämlich in dem magnetischen und in dem astronomischen Pole zusammenlaufen; dies rührt je-

Fig. 431.

Fig. 432.



doch nicht daher, weil die magnetischen Erscheinungen in jenen Gegenden besonders complicirt sind, sondern nur daher, weil bei der Bestimmung der Declination ein dem Magnetismus selbst eigentlich ganz fremdes Element, nämlich die Richtung des astronomischen Meridians, in Betracht zu ziehen ist; durch diese Einmischung geht die Einfachheit verloren. Der magnetische Pol, in welchem alle isogonischen Linien zusammenlaufen, ist allerdings ein magnetisch ausgezeichneter Punkt; denn denken wir uns ganz in der Nähe dieses Pols um denselben einen Kreis gezogen, so wird für alle Punkte dieses Kreises die horizontale Magnetnadel nach diesem Pole hin gerichtet sein; der Nordpol und der Südpol der Erde sind aber durchaus keine magnetisch ausgezeichneten Punkte, obgleich die isogonischen Linien sich in diesen Polen schneiden; sehen wir nun, woher dieses kommt. Auf dem Nordpole selbst fällt die Richtung der horizontalen Magnetnadel sehr nahe mit der Richtung des 60. Längengrades zusammen; in der Nähe dieses Poles rings um denselben herum wird nun die Magnetnadel fast ganz dieselbe Richtung haben, rings um den Pol herumgehend wird man aber deshalb der Reihe nach alle möglichen Werthe der Declination finden, weil alle Mittagslinien nach dem Pole convergiren; eine und dieselbe Richtung der Magnetnadel macht also verschiedene Winkel mit den von allen Seiten her nach dem Pole zusammenlaufenden Meridianen.

Diese scheinbare Verwickelung verschwindet, wenn man zur Darstellung der Richtung der horizontalen Magnetnadel an verschiedenen Orten der Erdoberfläche ein anderes Curvensystem wählt, wie es Duperrey bei der Construction seiner magnetischen Meridiane und Parallele gethan hat.

Denken wir uns, dass man von irgend einem Orte ausgehend in der Richtung reiste, nach welcher das Nordende der Magnetnadel hinweist, und dass man dann stets der Richtung der Declinationsnadel folgt, so wird der Weg, den man zurücklegt, ein magnetischer Erdmeridian sein. Von Brüssel ausgehend, würde man auf diese Weise östlich von England, Schottland und Island vorbeikommen und durch Grönland nach Boothia Felix gelangen. Von St. Helena ausgehend käme man auf diese Weise nach dem Grünen Vorgebirge, westlich an den Canarischen Inseln und den Azoren sowie der Südspitze von Grönland vorbei, endlich ebenfalls nach Boothia Felix, wie man dies leicht auf der Karte Tab. LVI verfolgen kann, auf welche eine Reihe von magnetischen Erdmeridianen für 1885 nach Neumayer aufgetragen sind.

Tab. LVII enthält die magnetischen Meridiane für die Umgebungen des Nordpols, Tab. LVIII für die Umgebungen des Südpols.

Die magnetischen Meridiane geben unmittelbar die Richtung der Declinationsnadel für diejenigen Orte an, durch welche sie laufen. So sehen wir aus dem Laufe der entsprechenden Curve, dass in Deutschland (1885) die Declination eine westliche ist, dass ungefähr unter dem 81. Grade nördlicher Breite im nördlichen Grönland die Nadel gerade

nach Westen zeigt, und dass nördlich von Boothia Felix dasselbe Ende der Declinationsnadel, welches wir das Nordende nennen, nach Süden gerichtet ist.

Alle magnetischen Erdmeridiane laufen in dem magnetischen Nordpole, und dann wieder in dem magnetischen Südpole der Erde zusammen.

Solche Curven, welche das System der magnetischen Meridiane stets rechtwinklig durchschneiden, nannte Duperrey magnetische Parallele. In unseren Karten finden sich auch einige derselben eingetragen.

Die Linien ohne Abweichung laufen natürlich durch die nördlichen und durch die südlichen Wendepunkte der magnetischen Parallele, und durch die östlichen und westlichen Wendepunkte der magnetischen Meridiane.

Die Karte Fig. 433 stellt den Lauf der isoklinischen Linien für 1860 und die Tafeln LIII, LIV und LV diejenigen für 1885,0 dar. Die isoklinischen Linien verändern sich im Laufe der Zeit ebensowohl wie die isogonischen. Der jetzige Lauf der isoklinischen Linien weicht schon bedeutend von der Lage der entsprechenden Linien auf der von Hansteen für 1780 construirten Inclinationskarte ab. Es ist dies die früheste Periode, für welche hinlängliches Material zur Construction einer über einen grösseren Theil der Erde sich erstreckenden Inclinationskarte vorliegt.

Die Linie auf der Erdoberfläche, für welche die Inclination gleich 0 ist, auf welcher also die Inclinationsnadel wagerecht steht, ist der magnetische Aequator. Nördlich vom magnetischen Aequator ist das Nordende, südlich von demselben ist das Südende der Inclinationsnadel nach unten gerichtet.

Die magnetischen Pole der Erde sind diejenigen Stellen der Erdoberfläche, auf welchen die Inclinationsnadel vertical steht, wo also der horizontale Antheil der magnetischen Erdkraft ganz verschwindet. Solcher magnetischer Pole giebt es zwei auf der Erdoberfläche, nämlich einen nördlichen und einen südlichen.

Von Gauss und Erman wurde 1830 bis 1840 im Mittel angenommen, dass der magnetische Nordpol sich in 73° 28′ nördl. Br. und 94° 47′ westl. v. Gr. befände. Der magnetische Nordpol wurde 1831 von Ross aufgefunden, und zwar in 70° 5,3′ nördl. Br. und 96° 45,3′ westl. v. Gr. Der magnetische Südpol ist noch nicht erreicht; Ross nahm für seine Lage an 75° 5,0′ südl. Br. und 154° 8,0′ östl. v. Gr. Nach neueren Beobachtungen dürfte wohl die Lage der Pole etwa folgende sein (1885):

70° 23′ nördl. Br. und 97° 28′ westl. v. Gr.
75° südl. Br. „ 148° östl. v. Gr.

Die Grösse der entsprechenden Inclination ist jeder Curve unserer Tafeln beigeschrieben. Der magnetische Nordpol ist in Fig. 433 durch einen stärkeren weissen Punkt bezeichnet. Die magnetischen Pole sind dieselben Punkte, in welchen die Declinationscurven in Fig. 429 bis 432, sowie Tab. L bis LII und Tab. LVI bis LVIII des Atlas zusammenlaufen.

Die beiden magnetischen Pole der Erde liegen einander nicht diametral gegenüber, d. h. eine die beiden Pole verbindende gerade Linie geht nicht durch den Mittelpunkt der Erde, sondern diese Linie bildet

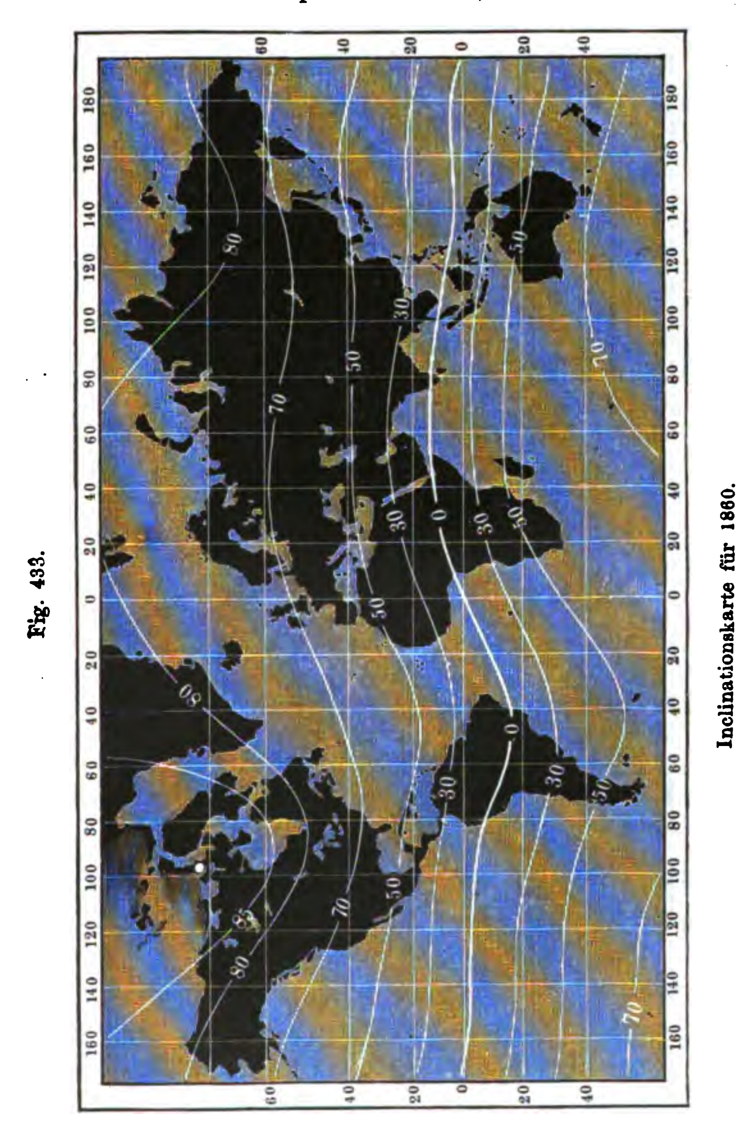


Fig. 433.

Inclinationskarte für 1880.

eine Sehne, welche von dem durch diese Sehne und den Erdmittelpunkt gelegten grössten Kreise einen Bogen von 161° 16′ abschneidet.

In der Karte Fig. 434 (a. f. S.) sind die **isodynamischen** Linien nach den berechneten Werthen der **ganzen Intensität** für 1835 aufgetragen.

Man sieht, dass es auf der nördlichen Halbkugel zwei Orte giebt, an welchen die Intensität ein Maximum, d. h. grösser ist als in allen rund herum gelegenen Orten; ein solches Maximum der Intensität findet sich

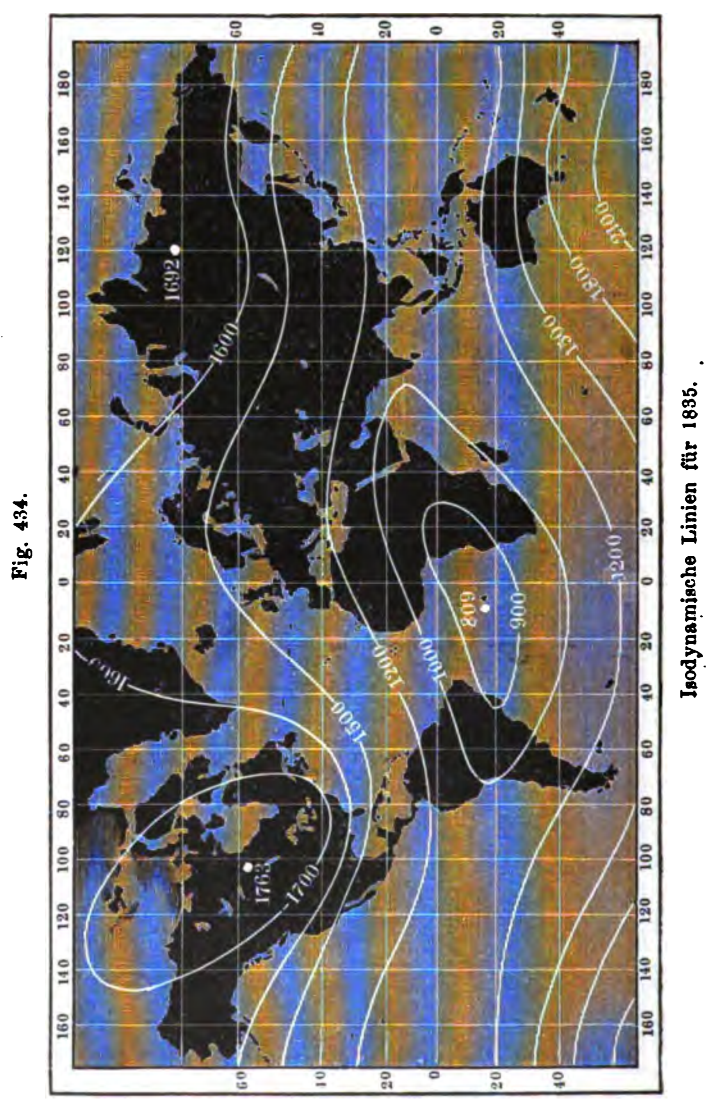


Fig. 434.

Isodynamische Linien für 1835.

in Nordamerika etwas westlich von der Hudsonbai, Fig. 434, ein zweites im nördlichen Asien. Dieser Umstand hat einige Gelehrte veranlasst, die Existenz von zwei magnetischen Polen auf der nördlichen Halbkugel anzunehmen; um zu entscheiden, ob dies wirklich der Fall ist, muss man

vor allen Dingen feststellen, was man unter einem magnetischen Pole der Erde versteht. Gewöhnlich nennt man, wie wir es auch gethan haben, diejenigen Orte der Erdoberfläche magnetische Pole, an welchen der horizontale Theil der Erdkraft verschwindet; man könnte aber unter einem magnetischen Pole auch eine solche Stelle verstehen, für welche die Intensität des Magnetismus ein Maximum ist. Diese beiden Begriffe sind aber nun durchaus nicht identisch, es kann an einem Orte die horizontale Componente des Erdmagnetismus verschwinden, die Inclinationsnadel kann sich vertical stellen, ohne dass deshalb hier auch ein Maximum der Intensität zu finden ist; umgekehrt kann an einem Orte die Intensität des Erdmagnetismus sehr wohl ein Maximum sein, ohne dass sich die Inclinationsnadel vertical stellt.

Nimmt man das Wort Pol im gewöhnlichen Sinne, so giebt es nur einen magnetischen Nordpol. An diesem Pole ist die Intensität des Erdmagnetismus kein Maximum; an den beiden Orten aber, für welche die Intensität ein Maximum ist, stellt sich die Inclinationsnadel nicht vertical, diese Orte sind also nach unserer Begriffsbestimmung keine magnetischen Pole.

Die den isodynamischen Linien beigeschriebenen Zahlen geben den Werth der Intensität nicht nach absolutem Maasse (über die Bedeutung des absoluten Maasses s. Lehrb. der Physik, 9. Aufl., Bd. III, S. 101), sondern nach der früher üblichen willkürlichen Einheit an, nach welcher die Intensität für London 1,372 ist; nur sind diese Zahlen, um Brüche zu vermeiden, noch mit 1000 multiplicirt. Um die Zahlen unserer Karte auf das absolute Maass zu reduciren, sind sie nur mit 0,00034941 zu multipliciren. Den Werth der horizontalen Intensität eines Ortes erhält man, wenn man seine absolute Intensität mit dem Cosinus der Inclination multiplicirt.

Lamont's magnetische Karten. Um den Verlauf der magnetischen Curven genauer zu verfolgen, muss man denselben in Specialkarten von Ländern eintragen, für welche möglichst zahlreiche und genaue magnetische Ortsbestimmungen vorliegen, wie dies Lamont in seinen magnetischen Karten von Deutschland und Bayern (München 1854) gethan hat. 284

In Fig. 435 (a. f. S.) ist die Lamont'sche Declinationskarte von Deutschland in kleinerem Maassstabe wiedergegeben. Die durch München gehende, oben und unten mit 0 bezeichnete Curve verbindet alle Orte, welche mit München gleiche Declination haben. Die nach Westen hin zunächst liegende mit + 1° bezeichnete geht über diejenigen Orte, deren westliche Declination um 1° grösser ist als die Declination von München; ebenso entsprechen die mit + 2°, + 3° u. s. w. bezeichneten Curven einer um 2, 3 . . . Grad grösseren, und die mit — 1°, mit — 2°, — 3° u. s. w. bezeichneten einer um 1, 2 und 3 Grad geringeren Declination.

Fig. 435.

+6° +5° +4° +3° +2° +1° 0 −1° −2° −3° −4° −5°

+2° +1° 0 −1° −2° −3° −4°

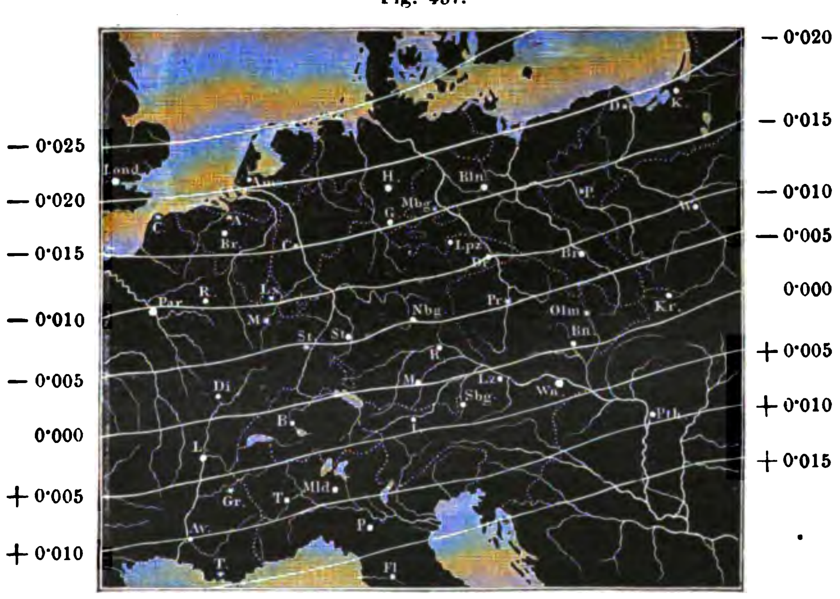
Fig. 436.



Im Jahre 1852 betrug die Declination für München 15° 40′. Für dasselbe Jahr betrug also die Declination für Luxemburg 18° 40′. Für Wien ist der Karte zufolge die Declination ungefähr 2° 20′ kleiner als zu München, sie war also für Wien im Jahre 1852 gleich 13° 20′ u. s. w.

Aehnlich ist die Einrichtung der Karte Fig. 436, welche die isoklinischen Linien enthält. Für die mit + 1°, + 2°, + 3° bezeichneten Curven dieser Karte ist die Inclination um 1, 2, 3° grösser, für die mit — 1°, — 2°, — 3° bezeichneten aber ist sie um 1, 2, 3° kleiner als die Inclination zu München, welche im Jahre 1852 64° 54′ betrug.

Fig. 437.



Dieser Karte zufolge war also die Inclination für 1852 zu Stralsund ungefähr 68° 54′. Für Breslau ist sie nahe $1^1/_2$ Grad grösser, für Mailand ist sie etwas mehr als $1^1/_2$ Grad kleiner als für München.

Die dritte Karte endlich, Fig. 437, enthält die Curven gleicher horizontaler Intensität. Die durch München gehende Curve ist auch hier mit 0 bezeichnet; auf den übrigen Curven ist die nach absolutem Maass gemessene horizontale Intensität um den am Rande angegebenen Werth grösser oder kleiner als zu München. Die horizontale Intensität ist also zu Paris, Frankfurt und Warschau um 0,010 kleiner, zu Triest ist sie um 0,0125 grösser als zu München, wo sie im Jahre 1852 den Werth 0,1951 hatte.

Ganz ähnlich ist nun auch die Einrichtung der von Lamont bearbeiteten magnetischen Karten von Bayern und dem südwestlichen Deutschland, jedoch beträgt die Declinationsdifferenz je zweier auf einander folgenden Declinationscurven 10′. Ebenso entsprechen die Inter-

valle der Inclinationskarte von Bayern einer Inclinationsänderung von zehn Minuten. Auf den Intensitätskarten von Bayern entspricht das Intervall je zweier auf einander folgender Curven einer Aenderung der absoluten horizontalen Intensität von 0,001.

Bei einem solchen Maassstab treten dann auch locale Störungen deutlich hervor. Während z. B. im Durchschnitt der Abstand je zweier benachbarter Declinationscurven ungefähr vier Meilen beträgt, rücken etwas westlich von Karlsruhe die Curven + 1° 50′ und + 2° bis auf eine Meile zusammen; dagegen rücken die Declinationscurven + 1° 30′ und 1° 40′ bei Darmstadt, welches zwischen denselben liegt, bis auf acht Meilen aus einander. Eine ähnliche Erweiterung zeigt sich zwischen Bamberg und Baireuth, und eine noch bedeutendere zwischen Salzburg und dem westlichen Ende des Chiemsees.

Die Inclinations- und Intensitätscurven zeigen die grössten Unregelmässigkeiten in der bayerischen Pfalz, namentlich in der Nähe von Pirmasenz. Ganz besonders grosse Störungen in dem Verlaufe der magnetischen Curven finden sich ausserdem an der ostpreussischen Ostseeküste.

285 **Theorie des Erdmagnetismus.** Die einfachste und älteste Hypothese, welche zur Erklärung der Erscheinungen des Erdmagnetismus aufgestellt wurde, ist die, einen kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde anzunehmen, oder vielmehr anzunehmen, der Magnetismus sei in der Erde so vertheilt, dass die Gesammtwirkung nach aussen der Wirkung eines fingirten kleinen Magneten im Mittelpunkte der Erde gleich sei. Dass eine solche Annahme sich mit den Beobachtungen nicht verträgt, sieht man auf den ersten Blick. Nach dieser Hypothese wären die magnetischen Pole diejenigen Punkte der Erdoberfläche, in welchen dieselbe von der verlängerten Axe des Centralmagnets getroffen wird; in diesen Polen müsste zugleich die Intensität ein Maximum sein; der magnetische Aequator wäre ein grösster Kreis, und alle isoklinischen Linien mit demselben parallel u. s. w. Tobias Mayer hat diese Hypothese dadurch modificirt, dass er den fingirten Magneten um den siebenten Theil des Erdhalbmessers von dem Mittelpunkte der Erde entfernt annahm; Hansteen versuchte, die Erscheinungen durch die Annahme von zwei kleinen Magneten von ungleicher Lage und Stärke zu erklären. Alle diese Versuche gaben jedoch keine genügenden Resultate.

Gauss hat endlich einen anderen Weg eingeschlagen, indem er nicht, wie seine Vorgänger, von einer einfachen Hypothese über die magnetische Vertheilung in der Erde ausging und dann die Resultate dieser Hypothese mit der Erscheinung verglich, sondern er suchte gleich die Frage zu beantworten: wie muss dieser grosse Magnet beschaffen sein, um den Erscheinungen Genüge zu leisten?

Die Gauss'sche Theorie lässt sich ohne Hülfe höherer Rechnung nicht entwickeln, da es sich hier darum handelt, das Zusammenwirken

aller magnetischen Kräfte, die keineswegs gleichförmig und regelmässig vertheilt sind, in mathematischen Formeln darzustellen; wir müssen uns also darauf beschränken, die Grundideen dieser Theorie anzudeuten.

Die Grundlage der Gauss'schen Theorie ist die Voraussetzung, dass die erdmagnetische Kraft die Gesammtwirkung der magnetisirten Theile des Erdkörpers ist. Das Magnetisirtsein stellt er sich als eine Scheidung der magnetischen Flüssigkeit in der Weise vor, wie dies im Lehrbuche der Physik, 9. Aufl., Bd. III, S. 20 entwickelt wurde. Eine Vertauschung dieser Vorstellungsart mit der Ampère'schen würde in den Resultaten nichts ändern. Dies vorausgesetzt, wird die Gesammtheit aller magnetisirten Theile des Erdballs auf jeden Punkt im Raume eine bestimmte Wirkung ausüben, und diese Wirkung wird von einem Punkte des Raumes zum anderen sich ändern müssen. Wir haben hier nur diejenigen Punkte des Raumes zu betrachten, welche auf der Erdoberfläche liegen. Zunächst ist demnach klar, wie auch der freie Magnetismus im Inneren der Erde vertheilt sein mag, die Wirkung in verschiedenen Punkten der Erdoberfläche nicht dieselbe sein wird, sie wird von der geographischen Länge und Breite des Ortes abhängen, den man gerade betrachtet. Die Wirkungen des Erdmagnetismus müssen sich also durch Gleichungen ausdrücken lassen, in denen die Länge und die Breite die veränderlichen Grössen sind; die Constanten dieser Gleichungen aber hängen von der Art und Weise ab, wie der freie Magnetismus in der Erde vertheilt ist.

Zunächst entwickelte Gauss auf diese Weise eine Gleichung für den Werth des magnetischen Potentials, einer Grösse, aus welcher sich die Werthe der nördlichen, westlichen und verticalen Componente der erdmagnetischen Kraft und aus diesen dann wieder Declination, Inclination und totale Intensität leicht berechnen lassen.

Das magnetische Potential, welches also zunächst als eine wichtige Hülfsgrösse für die Berechnung des Erdmagnetismus dient, hat aber auch eine physikalische Bedeutung. Denken wir uns an irgend einer Stelle der Erdoberfläche eine verticale Röhre angebracht, deren Querschnitt 1 qmm beträgt, und diese Röhre bis zu einer Höhe, in welcher die Wirkung des Erdmagnetismus unmerklich wird, mit nordmagnetischem Fluidum in der Weise gefüllt, dass jedes Cubikmillimeter ein Maass (nach der bekannten absoluten Einheit des Fluidums) enthält, so stellt uns das magnetische Potential den Druck dar, welchen der Boden dieser Röhre dadurch auszuhalten hat, dass der Erdmagnetismus die in der Röhre enthaltene Flüssigkeit anzieht; da, wo das nordmagnetische Fluidum von dem Erdmagnetismus abgestossen werden würde, hat man sich die Röhre in gleicher Weise mit südmagnetischem Fluidum gefüllt zu denken.

In den Karten Fig. 438 (a. f. S.), 439 (a. S. 849) und 440 (a. S. 850) sind die Linien gleicher Werthe des magnetischen Potentials dargestellt; die beigeschriebenen Zahlen beziehen sich nicht auf absolutes Maass, sondern

auf eine willkürliche Einheit; sie können durch Multiplication mit 0,00034941 auf absolutes Maass reducirt werden.

Die Curven gleicher Werthe des magnetischen Potentials wollen wir Gleichgewichtslinien nennen.

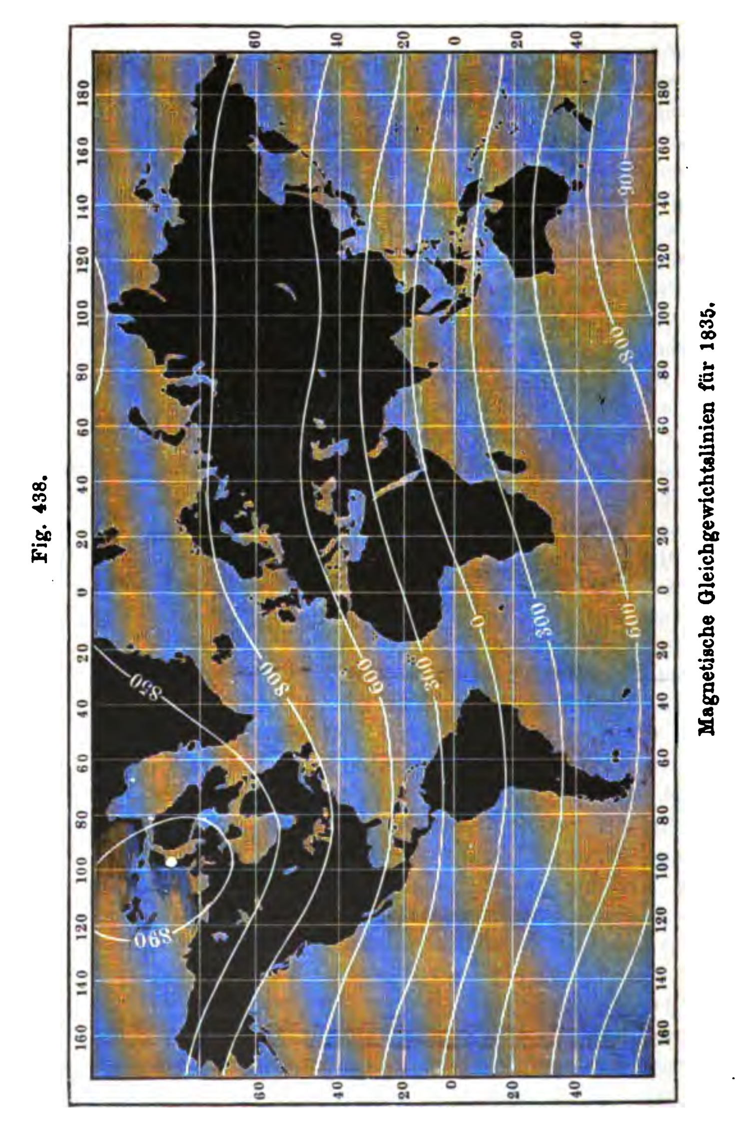


Fig. 438.

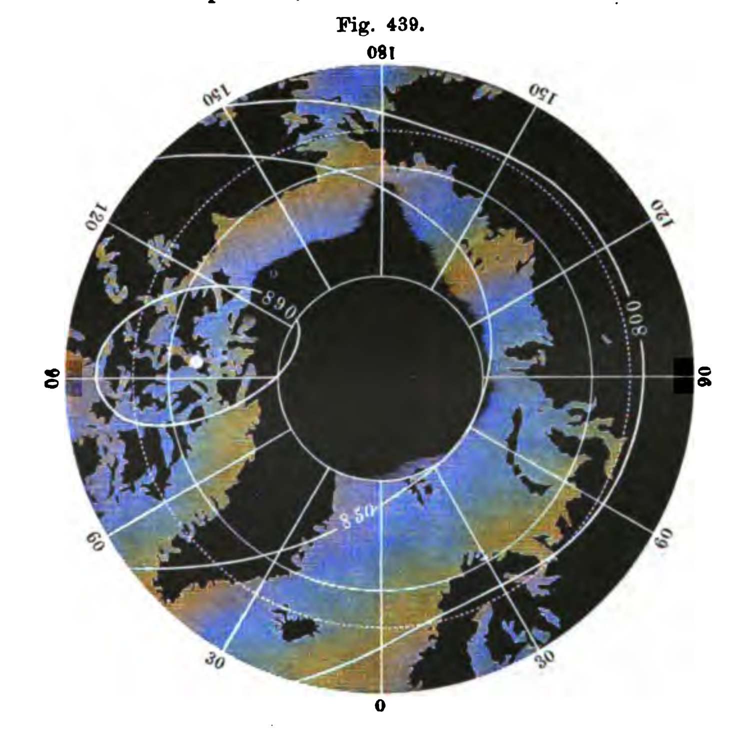
Magnetische Gleichgewichtslinien für 1835.

Aus dem Laufe der Gleichgewichtslinien ergiebt sich die Richtung der horizontalen Magnetnadel auf eine sehr einfache Weise, indem, wie Gauss gezeigt hat, die Richtung der Declinationsnadel stets recht-

winklig auf den Gleichgewichtslinien stehen muss. Aus dem Laufe dieser Curven kann man die Richtung der Boussole für jeden Ort der Erdoberfläche auf eine ungleich einfachere und übersichtlichere Weise ableiten, als es mittelst der Declinationskarte möglich ist.

Zwischen den Werthen des magnetischen Potentials und der horizontalen Intensität findet folgende Beziehung statt. Denken wir uns auf einer Karte nur solche Gleichgewichtslinien gezogen, welche gleichen Differenzen des magnetischen Potentials entsprechen, etwa nur solche Curven, welche den immer um 100 wachsenden Werthen des magnetischen Potentials entsprechen, so ist die horizontale Intensität der Entfernung der Gleichgewichtscurven umgekehrt proportional; die horizontale Intensität ist also für solche Gegenden am grössten, für welche die Gleichgewichtslinien am dichtesten sind; je weiter die gleichen Differenzen des Potentials entsprechender Curven aus einander rücken, desto kleiner wird die horizontale Intensität.

Fig. 439.



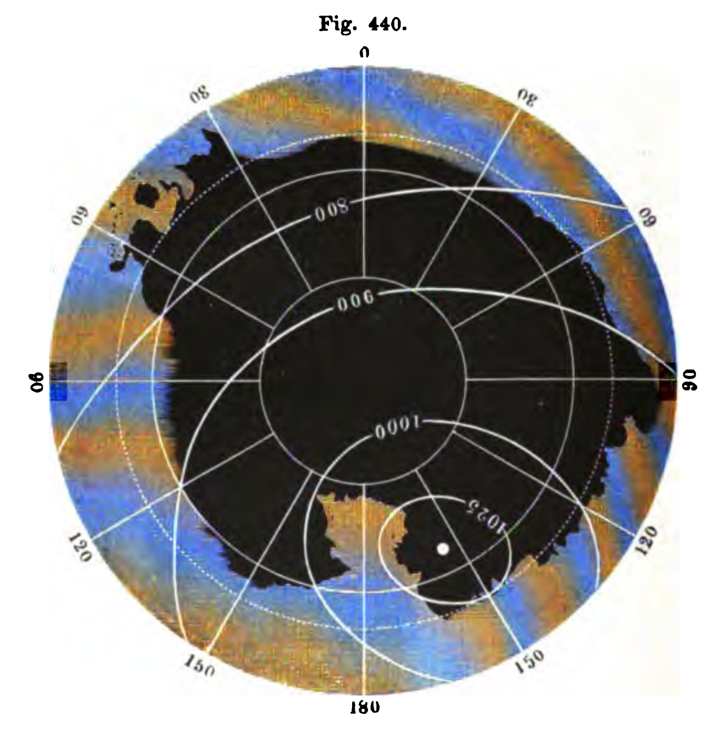
Aus der horizontalen Intensität ergiebt sich leicht die nördliche und westliche Componente, da ja durch den Lauf der Gleichgewichtslinien auch die Richtung der horizontalen magnetischen Kraft bestimmt ist.

Aus den Werthen des magnetischen Potentials ergeben sich ferner die Werthe der verticalen Intensität; doch können wir diesen Zusammen-

hang hier nicht weiter verfolgen. Sind aber erst die drei Componenten der erdmagnetischen Kraft bestimmt, so kann man auch noch leicht die Grösse und Richtung der ganzen Intensität ermitteln.

Wenn man in den Werthen für das magnetische Potential und die drei Componenten der erdmagnetischen Kraft nur diejenigen Glieder noch berücksichtigt, welche mit den vierten Potenzen der veränderlichen Grössen (Länge und Breite) behaftet sind, die höheren Potenzen aber vernachlässigt, so bleiben in den Werthen noch 24 constante Coëfficienten zu bestimmen. Diese Coëfficienten können wir nun nicht a priori aus der Vertheilung des freien Magnetismus in der Erde ableiten, weil wir

Fig. 440.



ja noch nichts über die Art wissen, wie der freie Magnetismus vertheilt ist; die 24 Coëfficienten müssen demnach durch die Combination von 24 verschiedenen Beobachtungen bestimmt werden. Die genaue Bestimmung der drei Elemente des Erdmagnetismus an acht verschiedenen Orten der Erdoberfläche würde also hinreichen, um die 24 Coëfficienten zu ermitteln.

Sind einmal die constanten Coëfficienten bekannt, so kann man nach den erwähnten Gleichungen die Werthe der drei Componenten der erdmagnetischen Kraft und folglich auch die Declination, die Inclination und die ganze Intensität für jeden Ort der Erdoberfläche berechnen,

wenn man für die Länge und Breite die diesem Ort entsprechenden Zahlenwerthe in die Gleichungen setzt.

Da es an einer hinlänglich genauen Bestimmung aller drei Elemente des Erdmagnetismus für acht weit genug von einander entfernte Orte der Erdoberfläche fehlt, so muss man mehr Beobachtungen zu Hülfe nehmen, als eigentlich zur Bestimmung der Coëfficienten nöthig sind. Auf diese Weise werden sich für denselben Coëfficienten mehrere verschiedene Werthe ergeben, und man hat alsdann nach der Methode der kleinsten Quadrate den wahrscheinlichsten Mittelwerth für jeden Coëfficienten zu ermitteln.

Gauss selbst hat nach dem Erscheinen der Sabine'schen Karte für die Intensität einen Versuch gemacht, die 24 Coëfficienten, aus welchen die Constanten des Erdmagnetismus für jeden Punkt der Erdoberfläche abzuleiten sind, zu ermitteln. Das von ihm benutzte Material war indessen ein sehr mangelhaftes, und namentlich liegt die Hauptschwierigkeit darin, dass es meist an gleichzeitigen über die Erdoberfläche genähert gleichmässig vertheilten Beobachtungen fehlt. Um die Beobachtungen auf dieselbe Epoche zu reduciren, bedarf man der sogenannten säcularen Aenderungen der Elemente, von denen später die Rede sein wird, und diese kann man nur gewinnen, wenn man für denselben Ort zeitlich weit aus einander liegende Beobachtungen besitzt. Ferner ist es auch durchaus nicht feststehend, dass die fünften und höheren Potenzen der veränderlichen Grössen in den Ausdrücken für das magnetische Potential und die drei Componenten der magnetischen Kraft vernachlässigt werden können. Nimmt man aber die fünfte Potenz noch hinzu, so steigt die Zahl der zu ermittelnden Coëfficienten bereits auf 35, und die Arbeit ihrer Berechnung wird eine so übermässig grosse, dass von ihr mit Rücksicht auf die Ungewissheit, ob damit wirklich ein wesentlicher Gewinn erzielt wird, bisher Abstand genommen ist.

Die genannten 24 Coëfficienten wurden, wie erwähnt, zuerst von Gauss, und zwar für das Jahr 1830 berechnet; zu Grunde gelegt wurden je zwölf Punkte auf sieben Parallelkreisen. Die Arbeit wurde später, auf Grund eines vollständigeren Beobachtungsmaterials, unter Benutzung der bis zum Jahre 1870 angestellten Beobachtungen, von Erman und Petersen wiederholt, und zwar wurden je neun Punkte auf zehn Parallelkreisen benutzt. Eine neue Berechnung der Coëfficienten wurde von Quintus Icilius nach den magnetischen Karten der Seewarte für 1880 ausgeführt, unter Benutzung von zwölf äquidistanten Meridianpunkten auf zehn Parallelkreisen. Die vollständigste Arbeit in dieser Richtung ist aber von Neumayer und Petersen für das Jahr 1885 hergestellt, welcher je 72 Punkte auf 25 Breitenparallelen zu Grunde gelegt wurden.

Dass eine möglichst genaue Berechnung der 24 Gauss'schen Coëfficienten noch nicht dahin führt, selbst nur für eine bestimmte Epoche die erdmagnetischen Elemente für jeden Punkt der Erdoberfläche abzuleiten, steht nach Neumayer's Untersuchungen ausser allem Zweifel. Die

Berechnung hat aber trotzdem einen grossen Werth, weil durch sie zunächst zwar noch nicht das Gesetz der Vertheilung der erdmagnetischen Kräfte auf der Erdoberfläche, wohl aber eine Annäherung an dasselbe gefunden worden ist, die voraussichtlich in späteren Zeiten zu der Erkenntniss des bis jetzt noch unbekannten Gesetzes führen wird.

286 **Die säcularen Variationen.** Die Elemente des Erdmagnetismus für irgend einen Ort auf der Erdoberfläche sind keineswegs unveränderliche Grössen, wie dies bereits im Lehrbuch der Physik besprochen wurde. Wie bedeutend sich die Declination ändert, ergiebt sich z. B. aus der folgenden Tabelle:

Declination für Paris.

Jahr	Declination	Jahr	Declination
1541	7° östl.	1805	22° 5′ westl.
1550	8 „	1814	22 34 „
1580	11° 30′ „	1819	22 29 „
1603	8 45 „	1822	22 11 „
1610	8 „	1832	22 3 „
1630	4 30 „	1842	21 25 „
1663	0 „	1850	20 36 „
1770	8 10 westl.	1852	20 20 „
1780	19 55 „	1885	16 15 „

Man sieht aus dieser Tabelle, dass im 16. Jahrhundert in Frankreich die Declination noch eine östliche war, dass sie im Jahre 1580 ihr Maximum erreichte, dann abnahm und im Jahre 1663 Null wurde; in jenem Jahre also zeigte die Declinationsnadel zu Paris genau nach Norden. Von jener Zeit an war die Declination zu Paris eine westliche, und zwar stets zunehmend bis zum Jahre 1814, wo die westliche Declination zu Paris ein Maximum von 22° 34′ erreichte. Seit jener Zeit nimmt die westliche Declination zu Paris wieder ab, und im Jahre 1885 betrug sie nur noch 16° 15′.

Solche, Jahrhunderte lang in gleichem Sinne fortdauernde Aenderungen im Stande der Magnetnadel werden mit dem Namen der säcularen Schwankungen bezeichnet. Man übersieht diese Veränderungen am besten, wenn man die magnetischen Karten verschiedener Zeiten, z. B. die Declinationskarten von 1600 bis 1885, mit denjenigen verschiedener Zwischenperioden vergleicht.

Mit dem Laufe der magnetischen Curven ändert sich natürlich auch die Lage der magnetischen Pole. Der magnetische Nordpol, welcher nach Hansteen im Jahre 1600 ungefähr bei *A*, Fig. 428 (a. S. 835), lag, ist allmählich bis *B* vorgerückt.

Aus dem Umstande, dass in Paris zwischen 1541 und der Gegenwart zwei Umkehrpunkte in der Curve der magnetischen Declination stattgefunden haben, lässt sich schon ersehen, dass man die Aenderungen der Declination nicht als der Zeit proportional ansehen kann. Man hat daher versucht, sie durch eine Formel folgender Art:

$$\delta = D + a\,(t' - t) + b\,(t' - t)^2$$

auszudrücken, wo t einen bestimmten festen Zeitpunkt, D die zu dieser Zeit stattgefundene westliche Declination und δ die westliche Declination zur Zeit t' bezeichnet. So hat z. B. Neumayer in dem Atlas des Erdmagnetismus für verschiedene Orte der Erde die Grössen D, a und b folgendermaassen angegeben:

Ort	D	a	b	t
Petersburg	1° 37,64′	— 6,5200′	—	1873
Berlin	18 7,30	+ 0,2681	— 0,070′	1800
Göttingen	14 51,70	— 8,8430	— 0,053	1867,52
Greenwich	20 24,97	— 7,8730	+ 0,049	1866
Prag	12 34,08	— 7,0480	+ 0,092	1865
Wien	11 39,42	— 7,3436	+ 0,017	1865
München	14 58,92	— 7,2822	+ 0,005	1857
Mailand	13 31,00	— 6,7270	— 0,004	1880
Venedig	11 49,00	— 6,8250	— 0,008	1880
Padua	11 56,00	— 6,8100	— 0,005	1880
Toronto	1 57,58	+ 2,8890	— 0,013	1856
Rio de Janeiro	0 24,40	+ 8,0940	+ 0,022	1850
Melbourne	— 8 19,74	+ 1,1800	+ 0,020	1871,5

Aus der Kleinheit der Coëfficienten b geht hervor, dass man immerhin für einige Jahre die Aenderung der magnetischen Declination als der Zeit proportional annehmen kann, wenn es sich darum handelt, eine beobachtete Declination auf eine andere, nicht zu entfernte Zeit zu reduciren. Dass für längere Zeit ein solches Verfahren zu merklichen Fehlern Anlass geben kann, geht aus folgenden Zahlen hervor, welche für Hamburg die jährliche Aenderung der Declination angeben:

1856	— 8,4′	1880	— 7,0′
1865	— 8,0	1885	— 6,4
1873,3	— 7,4	1890	— 5,2

Hätte man mit der für 1856 gültigen Säcularänderung (— 8,4′) die Declination für 1890 gerechnet, so würde man sie um mehr als einen halben Grad unrichtig erhalten haben.

Aehnliche säculare Aenderungen zeigt auch die Inclination, wie man aus folgender Tabelle sieht:

Inclination für Paris.

Jahr	Inclination	Jahr	Inclination
1671	75°	1825	68° 0′
1780	71 48′	1831	67 40
1806	69 12	1835	67 24
1814	68 36	1850	66 42
1820	68 20	1885	65 18

und gegenwärtig beträgt die Inclination nicht mehr ganz 65 Grad.

Wie gross gegenwärtig die jährliche Aenderung der Inclination für Deutschland ist, kann man aus folgenden Zahlen ersehen. Nach Neumayer beträgt sie für die Epoche 1858 bis 1888 in

Wilhelmshaven . .	— 1,52′	Oberhausen . . .	— 1,60′
Altona	— 1,56	Leipzig	— 1,52
Bremerhaven . . .	— 1,20	Bonn	— 1,48
Göttingen	— 1,31	Cuxhaven	— 1,52
Köln	— 1,53	Hannover	— 1,61
Königsberg . . .	— 1,30	Münster	— 1,65
Emden	— 1,53	Gotha	— 1,59
Bremen	— 1,58	Utrecht	— 1,80

Ferner betrug sie in

Upsala . .	— 1,42′	1869	Venedig . .	— 1,90	1880
Berlin . .	— 4,35	1800	Padua . . .	— 1,66	1880
Greenwich .	— 2,02	1868	Modena . .	— 1,75	1880
München .	— 2,52	1857	Toronto . .	+ 0,37	1856
Mailand . .	— 1,33	1880	Melbourne .	+ 0,08	1871,5

Auch die Inclination ändert sich nicht proportional der Zeit, sondern es ist ihre jährliche Aenderung jetzt in der Abnahme begriffen.

Was die Intensität anbelangt, so ist die Zeit, während welcher man diesem Elemente die nöthige Aufmerksamkeit gewidmet hat, zu kurz, um den Gang der säcularen Variationen desselben mit einiger Sicherheit zu übersehen. Die horizontale Intensität nimmt gegenwärtig in Deutschland zu, was aber wenigstens theilweise von der Abnahme der Inclination herrührt. Für München war die horizontale Intensität

Anfangs	1841	0,19300	Anfangs	1848	0,19432
„	1842	0,19339	„	1849	0,19437
„	1843	0,19373	„	1850	0,19523
„	1844	0,19374	„	1851	0,19549
„	1845	0,19374	„	1852	0,19508
„	1846	0,19397	„	1871	0,20090
„	1847	0,19417			

In Berlin hat die horizontale Intensität im Jahre 1816 ein Minimum von 0,1753 und in Göttingen im Jahre 1817 ein Minimum von 0,1756 erreicht und nimmt seitdem zu. Die Arbeiten von Eschenhagen haben nach Neumayer zu folgenden Werthen der Säculeränderung für Nord-west-Deutschland geführt (in Einheiten der fünften Decimale):

Nördl. Breite Grade	Oestl. Länge v. Gr. 7°	9°	11°
54,5	—	+ 21,1	—
53,5	+ 20,8	+ 20,3	—
52,5	+ 21,9	+ 20,2	+ 20,2
51,5	+ 22,0	+ 20,1	+ 22,1
50,5	+ 22,2	+ 20,1	—

Bis jetzt ist man noch nicht im Stande, einen genügenden Grund für die säcularen Aenderungen der erdmagnetischen Constanten anzugeben.

Die täglichen Variationen. Die säcularen Aenderungen in 287
der Richtung der Magnetnadel gehen nicht in der Art vor sich, dass die Nadel sich ganz langsam und gleichförmig nach einer bestimmten Richtung hin fortbewegt, sondern die Magnetnadeln sind beständigen Schwankungen unterworfen, in welchen sich zunächst eine tägliche Periode ausspricht.

Was die Declination betrifft, so ist der Verlauf ihrer täglichen Variationen in Deutschland ungefähr folgender: Morgens um 8 Uhr hat die Declinationsnadel im Durchschnitt ihre östlichste Stellung; ziemlich rasch bewegt sich nun ihr Nordende gegen Westen und erreicht zwischen 1 und 2 Uhr ihren westlichen Wendepunkt, um dann wieder nach Osten hin zu wandern, und zwar in den Nachmittags- und Abendstunden schneller, während der Nachtstunden langsamer.

Dieser Gang der Declinationsnadel wird durch die Curve Fig. 1, Tab. 22 anschaulich gemacht, welche den mittleren täglichen Gang der täglichen Variationen der Declinationsnadel zu Göttingen darstellt. Die Abscissen sind der Zeit, die Ordinaten den Variationen der Declination proportional, und zwar entspricht der Abstand zweier Verticalstriche einem Zeitintervall von einer Stunde, während der Abstand zweier Horizontallinien einer Winkeldifferenz von einer Minute entspricht. — Am oberen Rande der Figur ist die Zeit nach bürgerlicher, am unteren Rande ist sie nach astronomischer Weise gezählt.

Ein Steigen der Curve entspricht einer nach Osten, ein Sinken entspricht einer nach Westen gerichteten Bewegung des Nordendes der Nadel.

Die Amplitude der täglichen Bewegung der Magnetnadel, d. h. der Winkel zwischen ihrem östlichsten und ihrem westlichsten Stande, ist veränderlich, und zwar ist sie im Allgemeinen von der Jahreszeit abhän-

gig; sie ist grösser im Sommer, kleiner im Winter. Folgendes sind die Mittelwerthe dieser Amplitude für die verschiedenen Monate in Göttingen:

Januar . . .	6,7′	Juli	12,1′
Februar . . .	7,4	August . . .	13,0
März	11,0	September . .	11,8
April	13,9	October . . .	10,3
Mai	13,5	November . .	6,9
Juni	12,5	December . .	5,0

Derselbe Gang der täglichen Variationen der Declination zeigt sich im Wesentlichen für alle Orte, welche nördlich vom magnetischen Aequator liegen, nur werden sie um so schwächer, je mehr man sich von den Polargegenden aus dem magnetischen Aequator nähert, für welchen sie fast völlig verschwinden, um auf der Südhälfte der Erde in gleicher Weise, aber in entgegengesetzter Richtung aufzutreten, d. h. auf der südlichen Hemisphäre bewegt sich das Südende der Nadel zu denselben Tageszeiten nach Westen, in welchen auf der nördlichen Hemisphäre das Nordende der Nadel nach Westen geht.

Auch die Inclination ist Variationen von 24stündiger Periode unterworfen, und zwar ist sie im Durchschnitt um 10 Uhr Morgens am grössten und um 8 Uhr Abends am kleinsten.

Dieselben Wendestunden zeigen auch die täglichen Variationen der totalen Intensität, nur zeigt sich hier ein entgegengesetzter Gang, indem das Maximum der totalen Intensität im Durchschnitt Abends um 6 Uhr, das Minimum Morgens um 10 Uhr eintritt.

In Tab. 23 sind die täglichen Perioden der magnetischen Declination, Inclination und horizontalen Intensität für einige Orte angegeben, an denen sie zur Zeit der Polarexpeditionen 1882 bis 1883 ermittelt wurden. Die Orte sind: Cap Horn, Süd Georgien, Wilhelmshaven, Pawlowsk, Jan Mayen, Point Barrow, Fort Rae, Kingua Fjord (nach einer Skizze von Dr. Eschenhagen in „Verhandl. des 7. deutschen Geographentages 1887“). Hier zeigt sich, wie sehr die tägliche Periode bei Annäherung an den magnetischen Nordpol wächst. Eine gleiche Erscheinung bei Annäherung an den südlichen magnetischen Pol ist hier dagegen nicht zu erkennen, weil die südlichste Station (Cap Horn) nur eine südliche Breite von 56° hat, während z. B. die nördliche Breite von Pawlowsk bei Petersburg 59° 41′ beträgt.

288 **Magnetische Störungen.** Wenn man die Declinationsnadel mit Sorgfalt beobachtet, so zeigt sich, dass sie im Laufe eines Tages keineswegs so stetig von Ost nach West und dann wieder von West nach Ost geht, wie Tab. 22, Fig. 1 zeigt, welche ja nur als Durchschnittsresultat einer grossen Reihe von Beobachtungen gewonnen wurde. Von diesem in Fig. 1 dargestellten normalen Gange der Declinationsnadel weichen die wirklichen Schwankungen in der Lage des magnetischen

Meridians, wie sie an einzelnen Tagen beobachtet werden, mehr oder weniger ab. Ueberhaupt aber ist die Bewegung der frei beweglichen Magnetnadel keineswegs eine gleichförmige, sondern sie geschieht immer mehr oder weniger stossweise, so dass der magnetische Meridian gewissermaassen bald nach Ost, bald nach West über seine Mittellage hinausschwankt. Diese Bewegungen kann man als Störungen des normalen Ganges der Nadel bezeichnen.

Humboldt, welcher sich schon in den Jahren 1799 bis 1804 durch die Bestimmung der magnetischen Constanten in den Aequinoctialgegenden Amerikas grosse Verdienste um die Kenntniss des Erdmagnetismus erworben hatte, veranlasste zur genauen Erforschung der magnetischen Störungen, dass von 1828 bis 1830 zu Berlin, Freiberg, Nikolajew und Kasan an vorausbestimmten Tagen die Declinationsnadel stündlich beobachtet wurde, wobei sich ein merkwürdiger Parallelismus in der Bewegung der Nadeln verschiedener Orte herausstellte, der auch durch spätere Beobachtungen die vollste Bestätigung fand.

Einen grossartigen Aufschwung nahmen die erdmagnetischen Beobachtungen, nachdem Gauss durch Anwendung des Poggendorff'schen Spiegelapparates in seinem Magnetometer eine Vorrichtung construirt hatte, welche die geringsten Veränderungen in der Lage des magnetischen Meridians zu beobachten gestattete. Es wurden nun, von 1834 anfangend, an verschiedenen Orten Deutschlands und der benachbarten Länder nach demselben Princip construirte Apparate aufgestellt, um correspondirende Beobachtungen anzustellen, d. h. um an vorausbestimmten Terminen 24 Stunden lang die Variationen der Declinationsinstrumente von fünf zu fünf Minuten zu beobachten. Um die Beobachtungen genau gleichzeitig zu machen, wurde die Bestimmung getroffen, dass man überall nach Uhren beobachten sollte, welche nach Göttinger Zeit gerichtet waren. So entstand denn der von Gauss geleitete Verein, zu welchem im Jahre 1838 folgende Beobachtungsstationen gehörten:

Altona,	Genf,	London,
Augsburg,	Greenwich,	Mailand,
Berlin,	Haag,	Marburg,
Breda,	Hannover,	München,
Breslau,	Heidelberg,	Petersburg,
Brüssel,	Kopenhagen,	Prag,
Christiania,	Krakau,	Seeberg,
Dublin,	Kremsmünster,	Stockholm,
Freiberg,	Leipzig,	Upsala.

Die in den „Resultaten des magnetischen Vereins" publicirten Terminsbeobachtungen bestätigten nun den schon erwähnten Parallelismus im Gange der an verschiedenen Orten aufgestellten Declinationsinstrumente, wie man dies wohl am besten aus der graphischen Darstellung der Terminsbeobachtungen sieht. So stellen denn die Fig. 2 und 3 auf

Tab. 22 die Terminsbeobachtungen von Upsala, Göttingen und Mailand vom 26. auf den 27. Februar und vom 28. auf den 29. Mai 1841 dar, und zwar sind in diesen Figuren nur die von Stunde zu Stunde gemachten Beobachtungen eingetragen, während die graphischen Darstellungen des magnetischen Vereins, in ungleich grösserem Maassstabe ausgeführt, die Resultate der von fünf zu fünf Minuten angestellten Beobachtungen vollständig wiedergeben.

Die 24 Stunden dauernden Terminsbeobachtungen begannen um 10 Uhr Abends.

Die oberste Curve gilt für Upsala, die mittlere für Göttingen, die unterste für Mailand.

Der Maassstab der Fig. 1 auf Tab. 24 und der Tab. 25 ist derselbe wie der Maassstab der Fig. 2 und 3 der Tab. 22, und alle zum Verständniss der Tab. 22 gegebenen Erläuterungen gelten auch für diese Figuren.

Es versteht sich wohl von selbst, dass im Laufe einer Stunde der Gang der Declinationsnadel nicht etwa ein gleichförmiger ist, wie es in unseren Figuren die geraden Linien andeuten, welche je zwei auf einander folgende Beobachtungspunkte mit einander verbinden, sondern dass in der Zwischenzeit die Nadel gleichfalls nach der einen und anderen Seite ihres mittleren Ganges ausschlägt. Diese in kürzeren Zeitintervallen auftretenden Oscillationen können natürlich in den stündlichen Beobachtungen nicht wahrgenommen und in einer Zeichnung nicht ausgedrückt werden, welche nur nach den stündlichen Beobachtungen construirt ist.

Man sieht aus diesen Darstellungen, dass die Störungen in der Regel von der Art sind, dass sie den mittleren täglichen Gang noch deutlich hervorheben, dass also die Störungen als Oscillationen um den mittleren Gang der Declination auftreten. Diese nicht periodischen Schwankungen ändern sich nun von einem Tage zum anderen; an dem einen Tage sehr bedeutend, sind sie am anderen wieder sehr gering.

Im Allgemeinen fallen die Störungen der Declination um so bedeutender aus, je mehr man sich den Polargegenden nähert. So ging z. B. am 26. Februar 1841, Morgens von 3 bis 4 Uhr, die Declinationsnadel zu Upsala ungefähr um 12′, zu Göttingen nahe um 8′, zu Mailand um etwas über 5′ nach Westen.

Die Terminszeichnungen Fig. 2 und 3 auf Tab. 22 liefern nun auch eine anschauliche Bestätigung der bereits oben schon ausgesprochenen Thatsache, dass die Störungen im Allgemeinen nicht localen Ursachen zugeschrieben werden können, indem dieselbe Schwankung in gleicher Richtung fast gleichzeitig an allen Orten derselben Hemisphäre eintritt, welche nahezu gleiche geographische Länge haben.

Auch ausserhalb Europas wurden nun bald durch die Unterstützungen verschiedener Regierungen, namentlich der englischen und russischen, magnetische Observatorien errichtet, wo nach demselben Plane beobachtet

werden sollte, so namentlich zu Algier, Barnaul (Sibirien), Bombay, Cambridge (Nordamerika), Cap der guten Hoffnung, Madras, Nertschinks, Philadelphia u. s. w. Dadurch wurde es nun möglich, auch die Störungen der südlichen Hemisphäre mit denen der nördlichen und die nicht periodischen Schwankungen östlicher gelegener Orte mit den gleichzeitigen Schwankungen weit nach Westen hin liegender zu vergleichen.

Fig. 1, Tab. 24 stellt die Terminsbeobachtungen der Declination vom 27. und 28. August 1841 zu Upsala, Göttingen, Mailand und dem Cap der guten Hoffnung dar. Die drei oberen Curven bestätigen, was bereits über die Curven Fig. 2 und 3, Tab. 22 gesagt worden ist, die unterste Curve aber zeigt, dass die Störungen auf der südlichen Hemisphäre in fast vollkommenem Gegensatz zu den Schwankungen stehen, welche gleichzeitig an Orten der nördlichen Halbkugel stattfinden, die nahezu gleiche geographische Länge haben.

Für verschiedene Orte, welche nahezu gleiche geographische Breite, aber verschiedene Länge haben, zeigt sich gleichfalls ein Zusammenhang in den Störungen, aber in anderer Weise. Wenn zu irgend einer Zeit an einem bestimmten Orte eine besonders starke Störungsschwankung stattfindet, so wird sie nach Ost und nach West hin in gleicher Richtung, aber mit abnehmender Stärke auftreten; 90° östlich und 90° westlich von dem Orte, wo die Schwankung im Maximum auftritt, wird in demselben Momente gar keine oder nur eine unbedeutende Schwankung beobachtet, auf der anderen Hälfte des Parallels aber haben die gleichzeitigen Störungsschwankungen eine entgegengesetzte Richtung, und zwar zeigt sich ein östliches Maximum 180° von dem Punkte entfernt, wo gerade das westliche Maximum auftritt.

Es wird dies gleichfalls sehr gut durch die Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841 erläutert, nach welchen in Tab. 25 der gleichzeitige Gang der Declinationsnadel für Toronto (am Ontario-See), Göttingen und Nertschinsk dargestellt ist. Die mittlere dieser drei Curven, welche für Göttingen gilt, haben wir bereits in Fig. 1, Tab. 24 kennen gelernt. Die oberste der drei Curven gilt für Toronto, die unterste für Nertschinsk. Toronto und Nertschinsk sind ungefähr um 180 Längengrade von einander entfernt, und Göttingen liegt nahezu gleichweit von beiden entfernt.

Hier sehen wir nun, dass während der bedeutenden Schwankungen, welche zu Göttingen zwischen dem 27. August 10 Uhr Abends und dem 28. August 2 Uhr Morgens stattfanden, die Declinationsnadel zu Toronto und zu Nertschinsk nur eine unbedeutende Bewegung zeigte; während dagegen am folgenden Tage zu Göttingen zwischen 10 und 12 Uhr Vormittags die Declinationsnadel ziemlich ruhig dem normalen Gange folgte, sehen wir zu Toronto und Nertschinsk bedeutende Schwankungen eintreten, und zwar zu Nertschinsk in entgegengesetzter Richtung wie zu Toronto.

Fig. 2 auf Tab. 24 stellt in grösserem Maassstabe als die letzten Figuren den gleichzeitigen Gang der Declinationsstörungen dar, wie sie am 23. Februar von 6 bis 10 Uhr Abends (Göttinger Zeit) zu Upsala und zu Alten in Finnmarken während eines Nordlichts durch Lottin, Bravais und Martins beobachtet wurden; die obere Curve gilt für Alten, die untere für Upsala. Man sieht hier auf den ersten Blick, dass die schöne Uebereinstimmung, welche stets in den Variationen von Catania in Sicilien bis Upsala gefunden wurde, weiter nach Norden aufhört, so dass man bei Vergleichung der Curven von Alten und Upsala, trotz der verhältnissmässig geringen Entfernung beider Orte, kaum erkennen würde, dass sie sich auf denselben Termin beziehen. Aehnliche Resultate liefern auch andere Beobachtungen. Ueberhaupt sind die Störungen in den Polargegenden ausserordentlich gross und von gänzlich veränderter Gestalt.

Die Inclination und die Intensität sind ähnlichen Störungen unterworfen, wie die Declination.

289 **Ursache der magnetischen Störungen.** Was den Zusammenhang der magnetischen Störungen mit anderen Naturerscheinungen betrifft, so vermuthete man, dass wohl Gewitter einen Einflus auf die Magnetnadel ausüben müssten. — Dies hat sich nicht bestätigt, genaue Beobachtungen haben gezeigt, dass die Magnetnadel selbst durch die heftigsten Gewitter nur wenig afficirt wird. So beobachtete z. B. Lamont im Jahre 1842 das Magnetometer gerade in dem Augenblicke, wo der Blitz in der Nähe des Observatoriums auf freiem Felde einschlug, ohne dass er eine auffallende Bewegung der Nadel wahrnehmen konnte.

Anders verhält es sich mit Erdbeben und vulkanischen Ausbrüchen, welche älteren und neueren Beobachtungen zufolge meist von bedeutenden magnetischen Störungen begleitet sind. So sah Bernoulli im Jahre 1767, dass während eines Erdbebens die Inclination um $^1/_2$ Grad abnahm, und bei einem Ausbruch des Vesuvs bemerkte Pater de la Torre, dass die Declination um mehrere Grade variirte.

Am 18. April 1842 um 9 Uhr 10 Minuten beobachtete Kreil in Prag gerade das Declinationsinstrument, als die Nadel plötzlich einen so starken Stoss erhielt, dass die Scala über das Gesichtsfeld des Fernrohrs hinausfuhr. Dieselbe Oscillation wurde in demselben Augenblicke und zwar in gleicher Richtung auch von Cella in Parma und von Lamont in München beobachtet, und kurze Zeit darauf erfuhr man, dass in derselben Minute in Griechenland ein heftiges Erdbeben stattgefunden hatte.

In einem sehr innigen Zusammenhange mit den magnetischen Störungen stehen auch die Nordlichter, welche wir in den folgenden Paragraphen besprechen wollen.

Ueber die Ursache der magnetischen Störungen lässt sich nicht wohl eher eine zuverlässige Ansicht gewinnen, als bis man weiss, wo man eigent-

lich den Sitz der erdmagnetischen Kräfte zu suchen habe. Geleitet durch die Unregelmässigkeiten im Verlauf der magnetischen Curven, welche bereits auf Seite 846 erwähnt wurden, machte Lamont die Annahme, dass der Sitz des Erdmagnetismus in einem compacteren Kerne zu suchen sei, welcher sich unter der weniger dichten Erdrinde befindet, auf welcher wir leben.

Nach diesr Hypothese müsste man annehmen, dass die Erde in der Nähe ihrer Oberfläche aus wei Schichten besteht; einer weniger dichten, unter der sich dann eine compactere befindet, welche der Sitz des Erdmagnetismus ist. Diese magnetische Schicht, welche man sich als eine metallische, oder mit zahlreichen Adern von Eisen durchzogene vorstellen kann, wird im Allgemeinen ebenfalls von kugelförmiger Gestalt, aber, wie die äussere Erdoberfläche, mit mehr oder minder beträchtlichen Erhöhungen versehen sein. An solchen Stellen unserer Erdoberfläche nun, welche gerade über den höchsten Gipfeln dieser unterirdischen magnetischen Gebirge liegen, ist offenbar der Erdmagnetismus stärker vertreten und es ist somit klar, dass die uns noch unbekannte Lage dieser magnetischen Hervorragungen einen wesentlichen Einfluss auf den Lauf der magnetischen Curven haben muss.

Hiernach würde es sich nun sehr gut erklären, dass Erdbeben und namentlich Ausbrüche von Vulkanen stets von mehr oder weniger starken magnetischen Störungen begleitet sein müssen, denn bei jedem Ausbruche eines Vulkans muss diese magnetische Kruste durchbrochen werden, und bei jedem Erdbeben erleidet dieselbe mehr oder weniger bedeutende Erschütterungen.

Die magnetischen Störungen, welche wir in den letzten Paragraphen besprochen haben, beweisen, dass der magnetische Zustand dieser magnetischen Schicht keineswegs unverändert derselbe bleibt, dass er vielmehr mannigfachen Variationen unterworfen ist, welche theils allmählich vor sich gehen, und von welchen die säcularen Schwankungen herrühren, theils aber auch an eine tägliche Periode gebunden sind. Diese periodischen Variationen gehen aber nicht stetig vor sich, sondern es finden stets stossweise Schwankungen um den mittleren magnetischen Zustand statt.

Am einfachsten kann man sich von diesen Variationen und Schwankungen Rechenschaft geben, wenn man den Erdmagnetismus von elektrischen Strömen ableitet, welche den fraglichen Kern in stets veränderlicher Stärke und Richtung durchziehen. Die tägliche Periode der magnetischen Variationen scheint aber darauf hinzudeuten, dass wir hier mit thermo-elektrischen Strömen zu thun haben.

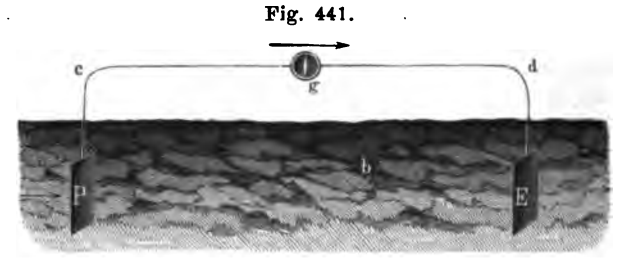
Bis jetzt ist es freilich noch nicht gelungen, die Existenz solcher Ströme, welche als Quelle des gesammten Erdmagnetismus zu betrachten sind, auch experimentell nachzuweisen. Zwar hat Barlow im Jahre 1847 an den Telegraphendrähten der Station Derby galvanische Ströme ohne Anwendung einer elektromotorischen Kraft (*spontaneous elektric*

currents) wahrgenommen, aber die Vergleichung der gleichzeitigen Bewegungen der in die Telegraphenlinien eingeschalteten Galvanometer mit denen eines empfindlichen Declinationsinstrumentes liess keinen Zusammenhang zwischen den Telegraphenströmen und dem Erdmagnetismus erkennen. Aehnliche Beobachtungen hat Baumgartner an den Telegraphenlinien zwischen Wien und Gratz gemacht. Am gründlichsten hat Lamont diese Ströme untersucht (Der Erdstrom und der Zusammenhang desselben mit dem Erdmagnetismus, Leipzig 1862).

In Fig. 441 seien P und E zwei Erdplatten, welche durch die Drahtleitung cd mit einander verbunden sind, so wird ein bei g in diese Leitung eingeschaltetes Galvanometer fast beständig von elektrischen Strömen afficirt werden, welche im Allgemeinen grosse Unregelmässigkeit zeigen und welche von verschiedenen Ursachen herrühren.

Zunächst zeigt der Multiplicator g Ströme an, welche von irgend einer in der Kette $PcdEb$ vorhandenen elektromotorischen Kraft, etwa

Fig. 441.



einem ungleichen Oxydationszustande der Platten P und E herrühren. Diese Ströme können nur allmählich ab- und zunehmen oder ihre Richtung ändern, im Allgemeinen aber werden sie, wegen des bedeutenden Leitungswiderstandes des zwischen P und E befindlichen Bodens, um so mehr abnehmen, je weiter man die beiden Erdplatten von einander entfernt, während eine entsprechende Verlängerung des Drahtes zwischen c und d auf den sogleich zu besprechenden Erdstrom keinen merklichen Einfluss ausübt.

Aber auch bei genügendem Abstand der Erdplatten (bei Lamont's Versuchen theils 323, theils 612 Fuss) zeigt das Galvanometer g bald grössere, bald kleinere rasch verlaufende Schwankungen, welche unmöglich von den eben besprochenen, die Kette $PcdEb$ durchlaufenden galvanischen Strömen herrühren können, wie sich auch aus dem Umstande ergiebt, dass in zwei benachbarten, einander parallelen, nach dem Schema der Figur angelegten Drahtleitungen, deren jede mit einem Galvanometer versehen ist, diese Schwankungen genau gleichzeitig und in gleicher Richtung auftreten.

Diese Schwankungen können nur von einem Erdstrom, d. h. von einer elektrischen Bewegung herrühren, welche von einem entfernten Punkte herkommend in die eine Erdplatte eintritt, den Draht, der hier

offenbar eine Zweigleitung bildet, durchläuft und aus der anderen Erdplatte wieder austritt.

Die Leitungen, welche Lamont bei der Sternwarte zu Bogenhausen herstellte, lagen zum Theil im astronomischen oder magnetischen Meridian, zum Theil aber rechtwinklig gegen diese Meridiane. Wurde nun einige Minuten lang das Galvanometer einer solchen Leitung und durch einen Assistenten gleichzeitig die magnetischen Variationsinstrumente beobachtet, so ergab sich, dass die momentanen Bewegungen der Galvanometer der im Meridian ausgespannten Linien genau mit den Variationen der Declinationsinstrumente correspondiren und zwar so, dass eine Zunahme der westlichen Declination einem Erdstrom von Nord nach Süd entspricht. In gleicher Weise ergab sich, dass ein Erdstrom, welcher eine rechtwinklig zum Meridian ausgespannte Leitung durchläuft, mit den Variationen der horizontalen Intensität in der Art zusammenhängt, dass eine Zunahme der Intensität einem Erdstrom von Ost nach West entspricht. Bedeutendere magnetische Störungen sind stets von stärkeren Schwankungen des Erdstromes begleitet.

Was nun die Quelle dieser Erdströme betrifft, so ist es nach Lamont's Untersuchungen unzweifelhaft, dass sie nur durch Ausgleichung der statischen Elektricität der Erdoberfläche zu Stande kommen. Dadurch erklärt es sich auch, dass in der Nähe sich entladende Blitzschläge stets von stärkeren Zuckungen des Erdstromes begleitet sind.

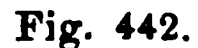
Das Nordlicht. In den winterlichen Gegenden jenseits des nörd- 290
lichen Polarkreises, wo die Sonne je nach der grösseren geographischen Breite um die Zeit des Wintersolstitiums Wochen und Monate lang unter dem Horizonte steht, werden die langen Nächte häufig durch die prachtvolle Erscheinung des Nordlichtes (Aurora borealis) erhellt, dessen eigentliches Wesen uns noch räthselhaft ist, und welches hier in diesem Capitel nur deshalb abgehandelt wird, weil dasselbe, wie wir bald sehen werden, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus steht.

Je weiter man sich vom Pole entfernt, desto seltener und desto weniger brillant wird die Erscheinung des Nordlichtes. Die letzten ausgezeichneten Nordlichter, welche man in Deutschland zu beobachten Gelegenheit hatte, sind die vom 7. Januar 1831, vom 18. October 1836, vom 25. October 1870 und vom 4. Februar 1872.

Die Erscheinung dieser Nordlichter, namentlich des vom Jahre 1831, kommt im Wesentlichen mit der Darstellung auf Tab. LIX. überein. Es ist dies die Copie eines schönen Bildes, welches der durch seine norwegischen Landschaften rühmlichst bekannte Maler August Becker von Darmstadt ausgeführt hat. Diese Darstellung veranschaulicht den Grundtypus der häufigsten Form, in welcher in Deutschland sowohl wie auch im südlichen Schweden und Norwegen die Nordlichter beobachtet werden.

In der Erscheinung des Nordlichtes findet eine grosse Mannigfaltigkeit statt, und um diese dem Leser vorzuführen, dürfte es wohl am geeignetsten sein, die Beschreibung naturkundiger Männer anzuführen, welche das Nordlicht in höheren Breiten in seiner ganzen Pracht und Herrlichkeit zu beobachten Gelegenheit hatten.

Nach den von Argelander in Abo gemachten Erfahrungen verkündigt ein eigenthümliches, schmutziges Ansehen des nördlichen Himmels in der Nähe des Horizontes dem aufmerksamen und geübten Beobachter schon im Voraus das Erscheinen eines Nordlichtes. Bald wird die Farbe dunkler und es zeigt sich ein Kreissegment von geringer oder grösserer Ausdehnung mit einem leichten Saume eingefasst. Dieses Segment hat vollkommen das Aussehen einer dunklen Wolkenbank. Eben dieses sagen auch andere Beobachter. Dieses dunkle Segment ist auch von solchen Beobachtern in Deutschland gesehen worden, welche auf das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 frühzeitig genug aufmerksam wurden. In sehr hohen Breiten ist dieses Segment ganz unmerklich.


Fig. 442.



Auch Mairan in seinem „Traité des Aurores boreales“, Paris 1744, sagt, dass die grossen Nordlichter kurz nach dem Ende der Dämmerung beginnen und dass man dann gegen Norden hin einen ziemlich dunkeln Nebel wahrnimmt. Dieser Nebel nimmt die Gestalt eines Kreissegmentes an, welches sich zu beiden Seiten auf den Horizont stützt. Der sichtbare Theil des Umfanges wird darauf von einem weissen Lichte gesäumt, aus welchem ein oder mehrere Lichtbogen entstehen, wozu dann endlich noch die verschiedenfarbigen, von dem dunklen Segmente ausgehenden Strahlen kommen.

Manchmal, wenn auch sehr selten, erscheint das dunkle Segment in der Nähe des Randes symmetrisch durchbrochen, so dass man gleichsam eine Feuersbrunst durch die Oeffnungen wahrzunehmen glaubt, Fig. 442. Dieses eigenthümliche Phänomen hat Mairan selbst am 19. October 1726 zu Brouelle-Pont beobachtet.

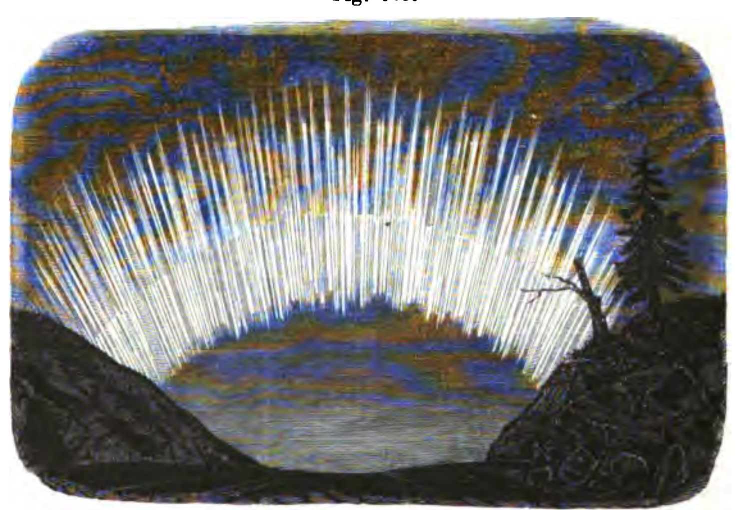
Durch dieses dunkle Segment hindurch kann man die helleren Sterne mit blossem Auge sehen, eine Thatsache, welche bereits von älteren Beob-

achtern berichtet und auch von neueren bestätigt worden ist. So sahen z. B. Kries in Gotha und Gerling in Marburg bei dem Nordlicht vom 7. Januar 1831 α Lyrae hell durch das dunkle Segment strahlen.

Das eigentliche Wesen dieses dunkeln Segments wird namentlich durch den zuletzt angeführten Umstand sehr räthselhaft; einige, z. B. Struve, sind geneigt, es nur durch den Contrast zu erklären. Dieser Ansicht widerspricht aber die Thatsache, dass das Segment schon in der Dämmerung sichtbar wird, ehe noch eine Lichtentwickelung des Nordlichtes auftritt, und somit muss man wohl mit Argelander hier das Dasein einer wirklichen Materie annehmen.

Das dunkle Segment wird von einem meist bläulichweissen hellen Lichtbogen gesäumt, dessen Breite zwischen 1 bis 6 Vollmondbreiten

Fig. 443.



schwankt. Ebenso verschieden wie die Breite ist auch die Ausdehnung des Saumes, welche zuweilen nur 25 bis 30, zu anderen Zeiten bis nahe 180 Grad beträgt, wonach dann auch die Höhe über dem Horizonte sehr verschieden ausfällt.

Der untere Rand dieses Bogens ist scharf begrenzt, der obere nur, wenn er sehr schmal ist; wenn er breiter ist und verwaschen erscheint, so verbreitet er ein lebhaftes Licht und erhellt den ganzen Himmel eben so stark, wie der Vollmond eine halbe Stunde nach seinem Aufgange.

Bei sehr lebhaften Nordlichtern zeigen sich oft mehrere concentrische Lichtbogen.

Wenn der Lichtbogen einmal gebildet ist, so bleibt er oft mehrere Stunden lang sichtbar, er ist aber dabei in beständiger Bewegung. Er hebt und senkt sich, er dehnt sich aus nach Ost und nach West, er wird bald da, bald dort zerrissen. Diese Bewegungen werden besonders be-

merklich, wenn das Nordlicht sich ausdehnt und die Strahlenbildung beginnt. Der Bogen wird nun an irgend einer Stelle leuchtender und beginnt Strahlen zu schiessen, welche unten theilweise in das dunkle Segment eindringen (Fig. 443 a. v. S.). Die Breite dieser hell leuchtenden Strahlen ist ungefähr dem halben Monddurchmesser gleich. Solche Strahlen schiessen mit der Schnelligkeit eines Blitzes empor, theilen sich oben; sie werden bald länger, bald kürzer, bewegen sich bald nach Ost, bald nach West, und krümmen sich wie ein vom Winde bewegtes Band. Wenn diese in stetem Wechsel der Form, der Lage und des Glanzes befindlichen Strahlen sehr hell werden, so erscheinen sie bald in grünlichem, bald in tief rothem Lichte. Wenn die Strahlen kurz sind, so hat der Lichtbogen das Ansehen eines gezahnten Kammes.

Oefters ereignet es sich, dass die leuchtenden Strahlen, welche von allen Theilen des östlichen, nördlichen und westlichen Horizontes auflodern, bis über den Scheitel des Beobachters hinaus aufschiessen und dann durch ihre Vereinigung für kurze Zeit eine glänzende Krone bilden, deren Mittelpunkt, wenigstens im nördlichen Europa, noch einige Grade südöstlich vom Zenith liegt. Bestimmt man die scheinbare Lage dieser Krone mit Hülfe eines astronomischen Instrumentes oder durch die Beobachtung der Sterne, die sich bei ihrem Entstehen in jener Gegend zeigen, so findet sich, dass der Mittelpunkt der Krone durch diejenige Stelle des Himmels gebildet wird, nach welcher das obere Ende einer im magnetischen Meridian frei beweglichen Inclinationsnadel hinweist.

291 **Beschreibung eines von Biot beobachteten Nordlichtes.** Am 7. August 1817 hatte Biot Gelegenheit, auf den Shetländischen Inseln ein grosses Nordlicht zu beobachten, von welchem er folgende Beschreibung giebt:

„Man erblickte zunächst in Nordost einige schmale Lichtstrahlen, die nicht hoch über den Horizont hinaufstiegen, und nachdem sie eine Zeitlang da gestanden hatten, verlöschten. Nach anderthalb Stunden erschienen sie wieder in derselben Himmelsgegend, aber viel stärker, glänzender und ausgedehnter. Bald fingen sie an, über dem Horizonte einen regelmässigen Bogen nach Art des Regenbogens zu bilden. Anfangs war der Umkreis desselben nicht vollendet, aber nach und nach nahm er an Oeffnung und Weite zu, und nach einigen Augenblicken sah ich von Westen her die andere Hälfte ankommen, die sich in einem Augenblicke erhob, begleitet von einer Menge leuchtender Strahlen, die von allen Seiten des nördlichen Horizontes hinzuliefen. Dieser Bogen war anfangs schwankend und unentschieden, als habe sich die Materie, die ihn bildete, noch nicht fest und bleibend geordnet; aber bald kam er zur Ruhe und erhielt sich dann in seiner ganzen Schönheit über eine Stunde lang, wobei er nur eine fast unmerklich fortschreitende Bewegung nach Südost hatte, als wenn ihn der schwache Nordwestwind, welcher damals wehte, dorthin führte. Ich hatte daher volle Zeit, ihn mit Musse zu betrachten,

und seine Lage mit dem Repetitionskreise, welcher mir zu astronomischen Beobachtungen dient, zu bestimmen. Er umspannte einen Bogen des Horizontes von 128° 42′ und sein Mittelpunkt befand sich genau im magnetischen Meridian. Der ganze Himmelsraum, den dieser grosse Bogen nach Nordwest zu begrenzte, wurde unaufhörlich von leuchtenden Strahlen durchfurcht, deren verschiedene Gestalten, Farben und Dauer meinen Geist nicht weniger als meine Augen beschäftigten."

„Gewöhnlich war jeder dieser Strahlen, wenn er anfing zu erscheinen, ein blosser Strich weisslichen Lichtes; schnell aber nahm er an Grösse und an Glanz zu, wobei er manchmal sonderbare Veränderungen in Richtung und Krümmung zeigte. Hatte er seine vollkommene Entwickelung erreicht, so verengte er sich zu einem dünnen geradlinigen Faden, dessen in der Regel äusserst lebhaftes und glänzendes Licht von sehr bestimmter rother Farbe war, dann allmählich schwächer ward und endlich erlosch, häufig genau an der Stelle, wo der Strahl angefangen hatte zu erscheinen. Dass eine so grosse Menge Strahlen fortdauert, jeder an seinem scheinbaren Orte, während der Glanz derselben unendlich viele Abwechselungen erleidet, scheint zu beweisen, dass das Licht dieser Strahlen kein reflectirtes, sondern eigenes Licht ist, und sich an dem Orte selbst entwickelt, wo man es sieht; auch habe ich darin nicht die geringste Spur von Polarisation entdecken können, welche das reflectirte Licht charakterisirt."

„Alle diese Strahlen und der Bogen selbst befanden sich in einer grösseren Höhe als die Wolken, denn diese bedeckten sie von Zeit zu Zeit, und die Ränder der Wolken schienen von ihnen erhellt zu sein. Auch der Mond, welcher damals hoch über dem Horizonte stand, erleuchtete dieses erhabene Schauspiel, und die Ruhe seines Silberlichtes bildete den sanftesten Contrast mit der lebhaften Bewegung der glänzenden Strahlengarben, mit welchem das Meteor die Luft übergoss."

Beschreibung des grossen Nordlichtes von 1836. Bessel giebt von dem schönen Nordlichte, welches am 18. October 1836 in Königsberg sichtbar war, folgende Beschreibung: „Bald nach dem Untergange der Sonne zeigte sich, westlich von Norden, eine Helligkeit des Himmels, welche man einem Nordlichte zuschreiben konnte, zumal da ihre Mitte etwa in der Richtung des magnetischen Meridians lag, und da einige Tage vorher auch Nordlichter erschienen waren. Denn die Nordlichter haben meistentheils ihren Mittelpunkt in dieser Richtung, und es ist nicht ungewöhnlich, dass sie sich in kurzer Zeit wiederholen. Das erste Nordlicht, welches ich in diesem Herbste gesehen habe, war am 11., ein zweites erschien am 12. October. Jenes gehörte zu den schöneren, indem es häufige Strahlen über den Polarstern hinauftrieb; dieses erhob sich nur wenig über den Horizont und zeigte keine Strahlen. Das am 18. October erscheinende entwickelte sich so vollständig, dass es, wenigstens für unsere Gegend, zu den sehr seltenen Erscheinungen gehört, und an die schöne Beschreibung von Maupertuis erinnert, den die 292

Nordlichterpracht in Torneå entzückte, als er sich, jetzt gerade vor 100 Jahren, daselbst befand, um eine denkwürdige wissenschaftliche Unternehmung rühmlich auszuführen."

„Unser Nordlicht zeigte zunächst einen röthlichen Schimmer, welcher mehrere Theile des nördlichen Himmels bedeckte, aber wenig lebhaft und von kurzer Dauer war. Dann strömte die Gegend um seinen Mittelpunkt herum häufige Strahlen aus, welche, wie es bei Nordlichtern gewöhnlich ist, in wenigen Augenblicken entstanden, fast bis zu dem Scheitelpunkte aufschossen, wieder verschwanden, und durch neue ersetzt wurden. Diese Strahlen sind geraden Kometenschweifen durchaus ähnlich; oft drängen sich so viele zusammen, dass sie an die geraden Bäume eines dichten Tannenwaldes erinnern; ihr Licht pflegt nicht so lebhaft zu sein, dass so heller Mondschein, als der des 18. October war, die Schönheit ihres Anblickes und ihrer fortwährenden Aenderungen nicht beeinträchtigen sollte."

„Bis hierher war die Erscheinung von der des 11. October und von denen, die sich in diesen Gegenden zu gewissen Zeiten nicht selten zeigen, nicht wesentlich verschieden. Allein um $7^1/_4$ Uhr erschienen zwei Strahlen, welche sich sowohl durch ihre Lebhaftigkeit als auch durch die Himmelsgegenden, wo sie sich befanden, auszeichneten. Beide entstanden an entgegengesetzten Punkten des Horizontes, der eine etwa 15 Grad nördlich von Osten, der andere eben so weit südlich von Westen. Sie schossen in Richtungen aufwärts, welche südlich von dem Scheitelpunkte vorbeigingen. Sie hatten die Helligkeit hoher weisser, durch starkes Mondlicht erleuchteter Strichwolken. Man sah deutlich, dass die Ausströmung, welche sie erzeugte, kräftig unterhalten wurde, denn ihre Verlängerungen und Verkürzungen waren gross und schnell. Als diese Strahlen kaum entstanden waren, zeigte sich an dem nördlichen Rande jedes derselben ein Auswuchs; beide Auswüchse verlängerten sich und näherten ihre Enden, so dass sie bald zusammenstiessen und nun einen Bogen bildeten, welcher beide Strahlen mit einander verband, und dessen höchster Punkt etwa 30 Grad nördlich von dem Scheitelpunkt lag. Dieser Bogen erschien, so wie die Strahlen, von welchen er ausging, in lebhaftem weissen Lichte, und würde vermutlich einen noch weit schöneren Anblick gewährt haben, wenn nicht der Mond seinen Glanz geschwächt hätte. Indessen blieb er nicht lange Zeit in seiner anfänglichen Lage; er bewegte sich dem Scheitelpunkte zu, ging dann über ihn hinaus auf die Südseite und kam auf dieser bis zu einer Entfernung von 40 bis 45 Graden, wo er sich nach und nach wieder verlor. Ehe dies geschah, nahm er auf der Westseite eine unregelmässige Krümmung an und zeigte sich sehr auffallend schlangenförmig; auf der Ostseite blieb er bis zu seiner gänzlichen Auflösung regelmässig gekrümmt."

„Nach dem Verschwinden dieses Bogens zeigte das Nordlicht nur noch eine beträchtliche Helligkeit am nördlichen Himmel, welche trotz des Mondscheines, oft bis zu der Höhe von 30 Graden, wahrgenommen

werden konnte. Hin und wieder schoss es einzelne blasse Strahlen aufwärts, welche jedoch mit keinen ungewöhnlichen Erscheinungen verbunden waren. Allein um $9^1/_2$ Uhr wurde sein Ansehen prachtvoll; die Nordhälfte des Himmels bedeckte sich mit einer rothen Farbe, welche so satt wurde, dass sie nur mit der Farbe des Karmins verglichen werden kann; dabei war ihr Licht so stark, dass es, trotz des Mondlichtes, sichtbaren Schatten verursachte. Diese Röthe des Himmels ging im Norden nicht bis zu dem Horizonte herab, sondern ein bogenförmiger Raum, dessen Scheitel etwa 30 Grad Höhe haben mochte, blieb ungefärbt."

„Ueber diesem freien Raume sah der Himmel aus, als würde er durch einen Vorhang von einem hochrothen, durchsichtigen Stoffe bedeckt. Hinter dem Vorhange schossen blendend weisse Strahlen hervor, welche durch ihn hindurchschimmerten. Einige glänzende Sternschnuppen, welche sich an dem verhängten Theile des Himmels zeigten, vermehrten noch die Pracht und die Abwechselung der Scene."

„Etwa nach einer Viertelstunde trennte sich der rothe Vorhang, um den in der Richtung des magnetischen Nordens liegenden Theil des Himmels wieder in seiner gewöhnlichen Farbe erscheinen zu lassen. Der ungefärbte Raum vergrösserte sich nun nach beiden Seiten, und bald war keine rothe Farbe mehr, sondern nur noch eine Helligkeit am nördlichen Horizonte sichtbar."

„Zum Schluss führe ich noch an, dass, nach Maupertuis, die hochrothe Farbe des Himmels auch in Torneå so selten vorkommt, dass allerlei Aberglauben daran geknüpft wird, dass aber alle anderen Färbungen häufig sind. Es scheint daher, dass unser Nordlicht selbst für höhere Breiten eine ungewöhnliche Erscheinung gewesen sein würde."

Matteucci, welcher das Nordlicht vom 18. October 1836 zu Forli im Kirchenstaate beobachtete, giebt davon folgende Beschreibung: „Es war 9 Uhr Abends, als ein schwach röthliches Licht sich gegen Norden hin zeigte. Es erstreckte sich auf eine Weite von 70 bis 80° und erhob sich zu 25 bis 30°. Seine Gestalt war in den unteren Partien kreisförmig; seine Entfernung vom Horizonte konnte 7 bis 8° betragen. 23 Minuten nach seinem ersten Hervortreten nahm das Licht eine lebhafte Purpurfarbe an, eine dunklere centrale Linie, welche man darin bemerkte, ging nach Westen. Die Erscheinung verschwand durch allmähliches Erblassen."

Das Nordlicht vom 24. und 25. October 1870. In den 293
Abendstunden des 24. und 25. October 1870 wurde ein Nordlicht von aussergewöhnlicher Pracht in einem grossen Theile Europas beobachtet. Die Illustrirte Zeitung gab folgende Beschreibung des Phänomens, wie es in Dresden beobachtet wurde:

Am Abend des 23. October nach Sonnenuntergang bemerkte man einen hellen Schein am nordwestlichen Himmel, den man indess wenig beachtete, weil man glaubte, er rühre wohl noch von der untergegangenen Sonne her; aber am 24. October entwickelte sich aus einem ähnlichen

Schein ein prächtiges Nordlicht, dessen dunkelrosige Gluth am stärksten im Sternbild des Grossen Bären hervortrat. Es gestaltete sich in der sechsten Abendstunde am schönsten. Aus einem flachen Bogen, der von Nordost bis Südwest gespannt war, erhoben sich die glänzend rothen durchsichtigen Strahlenbüschel in drei Hauptpartien bis über das Zenith des Himmelsgewölbes. Am südwestlichen Ende strahlte eine einzige dunkelrothe Säule fast über den ganzen Himmel. Nachdem die schöne Erscheinung schwächer geworden, flammte in der achten Stunde das Licht noch einmal auf und jetzt zweigetheilt, der Lichtschein in Nordost war oben heller und leuchtender als der des anderen Theils, der sich im Norden indess höher nach dem Zenith erstreckte als der nordöstliche.

Am 25. Abends gleich nach Sonnenuntergang wiederholte sich die Erscheinung. Zuerst leuchtete ein deutlich abgegrenzter Bogen mit weissgrünem Lichte über dem nördlichen Horizont. Das weissgrüne Licht nahm einen röthlichen Saum nach oben an, der dann mit rothem Lichte immer grösser und heller ward, dessen Strahlen aber undeutlich in einander verschwammen.

294 **Das Nordlicht vom 4. Februar 1872.** Eine der grossartigsten Nordlicht-Erscheinungen fand am Abend des 4. Februar 1872 statt; sie war namentlich dadurch ausgezeichnet, dass sie noch sehr weit nach Süden hin sichtbar war, dass sie also noch an Orten beobachtet werden konnte, an welchen die Erscheinung eines Nordlichtes zu den äussersten Seltenheiten gehört. Secchi gab von diesem, von ihm zu Rom beobachteten Nordlicht im „Osservatore Romano“ folgende Beschreibung:

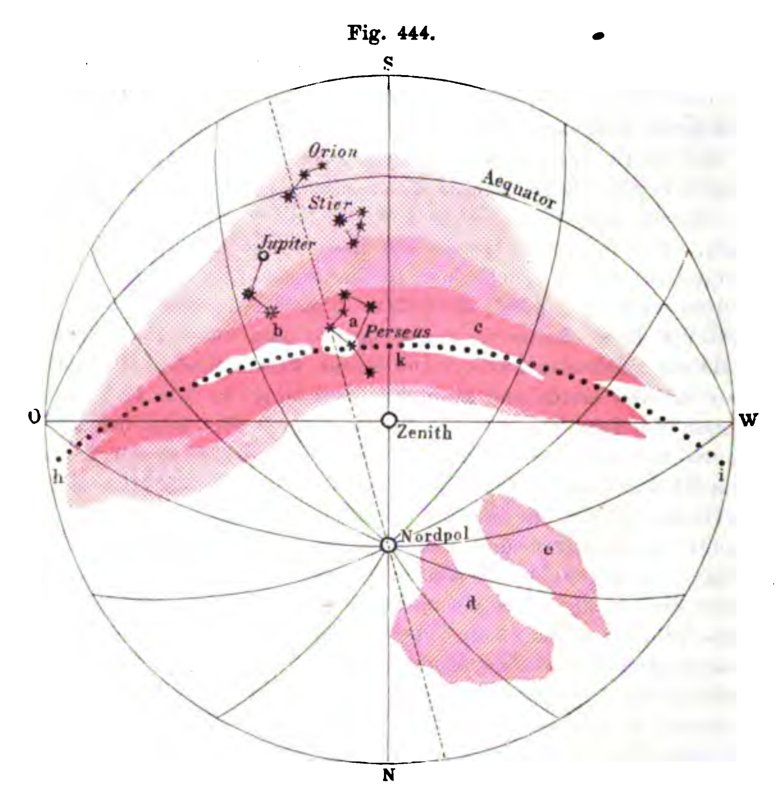
Das Phänomen begann sichtbar zu werden um 5 Uhr 47 Minuten, d. h. sobald die Dämmerung gestattete, sein Licht wahrzunehmen, jedoch hatte die elektrische Erscheinung sicherlich schon viel früher begonnen. Man sah im Norden und Nordosten zwei getrennte, ausgebreitete Massen von der Helligkeit der Dämmerung im Westen, zu denen sich bald eine dritte in Nordnordwesten gesellte. Als das Licht der Dämmerung verschwand, zeigte sich die Erscheinung in ihrer ganzen Schönheit in Form eines gewundenen Bogens, der von Westnordwest sich bis nach Osten erstreckte. Der Hintergrund des Himmels war ganz rosenfarben, mehr oder minder lebhaft, und um 6 Uhr 22 Min. erschienen die ersten Strahlen, 30° von Norden gegen Westen, die sich bald bis Nordosten ausdehnten. Um 6 Uhr 30 Min. bildete sich ein zweiter Bogen über dem ersten, und das ausgebreitete Licht, theils roth, theils lebhaft gelb, ging über das Zenith hinaus und erreichte die Plejaden um 6 Uhr 42 Min. Um 6 Uhr 45 Min. bildete sich, von dem unteren Bogen ausgehend, ein prächtiger rosenfarbener Strahlenkranz auf der ganzen Halbkugel, der von 60° W. gegen N. bis 90° O. sich erstreckte. Nachdem das Phänomen verschiedene Phasen durchgemacht und der leuchtende Bogen sich in mannigfaltigen Curven und Festons gewunden hatte, erhob es sich

langsam und überschritt das Zenith um 7 Uhr. Sieben Minuten später erschien die Krone, gebildet aus sehr schönen Strahlen, die alle nach den Hyaden zu convergirten, oder genauer nach dem Aldebaran, dem rothen Stern im Auge des Stiers. Um 7 Uhr 15 Min. drang das Licht in das Sternbild des Orions ein und erstreckte sich weit südlich von unserem Zenith. Bewundernswerth war die Schnelligkeit der Bewegungen des Lichtes, die gleichsam Blitze zu sein schienen, und zugleich der mannigfaltige Wechsel der Farben. Das vorherrschende Aussehen war bis 7 Uhr 30 Min. das einer phosphorescirenden Wolkenmasse, die in Form eines zum Meridian senkrechten Gürtels von Norden nach Süden vorrückte. Nach dieser Zeit aber fand das Licht sich ausgebreitet über den ganzen Himmel bis auf ein kleines Segment im Süden und vertheilte sich in eine Menge hellerer Bogen, die alle nach dem Scheitel der Krone zu divergirten, und deren Mittelpunkt von 7 Uhr 55 Min. bis kurz nach 8 Uhr der Stern Beteigeuze im Orion war, wie sich aus sorgfältigen Messungen ergab. Man glaubte unter einem ungeheuren Zeltdache zu stehen, dessen vom Winde leicht bewegte Falten in vergoldetem Lichte strahlten. Der Convergenzpunkt der Radien lag nahezu auf der Verlängerungslinie der magnetischen Inclinationsnadel. Durch die Spectralanalyse wurde gefunden, dass das schöne Licht, das man für weiss oder gelblich hielt, bestimmt einfarbig war und zwar von grünlicher, ins Gelbliche spielender Farbe. Die Sterne waren verdunkelt und man sah nur die von erster und zweiter Grösse, und wo das Licht lebhaft war, auch die letzteren nur mit Mühe. Um 9 Uhr begann das Licht matter zu werden, wurde um 10 Uhr auf kurze Zeit wieder lebhafter, war um 11 Uhr schon sehr schwach und um 3 Uhr 45 Min. Morgens ganz verschwunden. Die meteorologischen Erscheinungen, welche dem Nordlichte vorhergingen und dasselbe begleiteten, sind folgende: Seit drei Tagen war prächtiges Wetter gewesen, heiter, windstill, mild und sehr feucht, aber mit geringer Elektricität. Am Morgen des 4. bedeckte Alles ein dichter Nebel, der sich in grosser Menge niederschlug. Das Barometer stand niedrig, begann aber um Mittag zu steigen. Während der Dauer der Erscheinung wehte der Wind leicht aus Norden, die Temperatur war milde und das Barometer stieg fortwährend mit grosser Schnelligkeit. Die Magnetometer begannen um 1 Uhr Nachmittags sich unruhig zu zeigen, während des Nordlichtes aber waren sie ausserordentlich erregt; das Declinometer schwankte zwischen 12° 32′ und 13° 14′, wurde jedoch nicht beständig im Auge behalten. Die Telegraphenlinien waren von 5 Uhr 30 Min. an gestört, das Maximum schien um 6 Uhr 31 Min. zu sein. Die Elektricität war beim Beginn schwach, aber gegen Ende stärker, doch nicht aussergewöhnlich stark. Während des Nordlichtes fiel starker Thau und wurden zwei schöne Sternschnuppen gesehen. Dieses Nordlicht wurde auch in Sicilien an zwei Stellen beobachtet und zwar auf den Höhen von Palermo, wo es eine Höhe von 50° erreichte. Hieraus schliesst P. Secchi, dass dieses Phänomen nicht

nur in ganz Europa, sondern vielleicht auch auf der südlichen Hemisphäre sichtbar gewesen ist, und betrachtet dasselbe als eine schöne Gelegenheit für das Studium der Umstände, welche diese den Polarzonen eigenthümlichen Naturerscheinungen auch für so weit südliche Breiten sichtbar machen.

Garthe, welcher die Erscheinung zu Köln beobachtete, war darüber zweifelhaft, ob er es wirklich mit einem Nordlicht zu thun habe und nannte sie deshalb nur eine nordlichtähnliche Erscheinung. Er gab von derselben folgende durch Fig. 444 erläuterte Beschreibung,

Fig. 444.



welche das auf den Horizont von Köln projicirte Himmelsgewölbe sammt der Lage der wichtigsten Sternbilder für den 2. Februar Abends $6^h\,10^m$ darstellt, zu welcher Zeit das Phänomen am glänzendsten erschien. Es bestand im Wesentlichen aus einem, südlich vom Zenith gelegenen, glänzend purpurnen, mehrere Grade breiten Bogen, dessen Mittellinie, in Fig. 444 durch die punktirte Linie hki bezeichnet, einen grössten Kreis am Himmelsgewölbe bildete. Der ganze Himmel war dabei wolkenfrei und selbst durch den rothglühenden Streifen hindurch waren die Sterne vollkommen deutlich sichtbar. Auch nach Norden und Nordwesten hin

war der Himmel wolkenfrei und hier zeigte sich weder ein röthlicher Schimmer noch eine dunkle Wand, welche gewöhnlich einer Nordlichterscheinung zur Basis dient, aus welcher mehr oder weniger gefärbte Strahlen aufschiessen, welche Garthe überhaupt während der ganzen Dauer der Erscheinung an keiner Stelle wahrnehmen konnte. Dies ist auch der Grund, warum er zweifelte, hier mit einem Nordlicht zu thun zu haben.

Den Gipfelpunkt des rothen Lichtbogens bildete ein grünlichgelber Fleck *a*, welcher südsüdöstlich vom Zenith im magnetischen Meridian lag und zu dessen beiden Seiten die gleichfalls grüngelben Streifen *b* und *c* erschienen. Zu beiden Seiten des purpurnen Bogens wurde das Roth immer blasser und verlor sich nach Norden hin bald, dehnte sich aber südlich bis zum Sternbild des Orion aus, umfasste mit seinem lichten Schleier die Sternbilder des Stiers und der Zwillinge mit dem hier gerade glänzenden Jupiter. Gegen $6^h 40^m$ verschwand die eben beschriebene Erscheinung, welche während ihrer ganzen Dauer nur unbedeutende Formveränderungen zeigte. Bald nach 8 Uhr wurden von anderen Beobachtern nach Nordwesten hin röthliche nordlichtartige Wolken *d* und *e* beobachtet.

Beschreibung der von Lottin zu Bossekop beobachteten Nordlichter. Der Schiffslieutenant Lottin, Mitglied einer nach dem Norden ausgesendeten wissenschaftlichen Expedition, hatte während des Winters von 1838 auf 1839 Gelegenheit, die Erscheinung des Nordlichtes zu Bossekop, im norwegischen Amte Finnmarken, unter dem 70. Grade nördlicher Breite, zu beobachten. 295

Bossekop liegt an einem vielbuchtigen Fjord, in welches sich das Flüsschen Alten ergiesst, umgeben von Tannenwäldern und Schneebergen, deren Kamm sich zu einer Höhe von 5 bis 7° über den Horizont erhebt.

Vom September 1838 bis zum April 1839, in einem Zeitraume von 206 Tagen, beobachtete man daselbst 143 Nordlichter, und zwar 64 während der längsten Nacht, welche in jenen Gegenden vom 17. November bis zum 25. Januar dauert. Lottin beschreibt das Phänomen in folgender Weise:

„Des Abends zwischen 4 und 8 Uhr färbt sich der obere Theil des leichten Nebels, welcher fast beständig nach Norden hin in einer Höhe von 4 bis 6° herrscht; dieser lichte Streifen nimmt allmählich die Gestalt eines Bogens von blassgelber Farbe an, dessen Ränder verwaschen erscheinen und dessen Enden sich auf die Erde stützten.“

„Dieser Bogen steigt allmählich in die Höhe, während sein Gipfel stets nahe in der Richtung des magnetischen Meridians bleibt.“

„Bald erscheinen schwärzliche Streifen, welche den lichten Bogen trennen und so bilden sich Strahlen, welche sich bald rasch, bald langsam verlängern oder verkürzen. Der untere Theil dieser Strahlen zeigt

immer den lebhaftesten Glanz und bildet einen mehr oder weniger regelmässigen Bogen. Die Länge der Strahlen ist sehr verschieden, sie convergiren aber nach einem Punkte des Himmels, welcher durch die Richtung des Südendes der Inclinationsnadel angedeutet ist. Manchmal verlängern sich die Strahlen bis zu diesem Punkte und bilden so ein Bruchstück eines ungeheuren Lichtgewölbes."

„Der Bogen fährt fort, gegen das Zenith hin zu steigen; in seinem Glanze zeigt sich eine undulatorische Bewegung, d. h. der Glanz der Strahlen wächst der Reihe nach von einem Fusse zum anderen; diese Art Lichtstrom zeigt sich oft mehrmals hinter einander, aber häufiger von Westen nach Osten als in entgegengesetzter Richtung. Manchmal, aber selten, folgt die rückgängige Bewegung unmittelbar auf die erste, und wenn der Glanz der Reihe nach alle Strahlen von Westen nach Osten durchlaufen hat, nimmt seine Bewegung eine entgegengesetzte Richtung an und kehrt zu seinem Ausgangspunkte zurück, ohne dass man eigentlich recht sagen kann, ob die Strahlen selbst eine horizontale Verrückung erleiden, oder ob sich der Glanz von Strahl zu Strahl fortpflanzt, ohne dass die Strahlen ihre Richtung verändern."

„Der Bogen zeigt auch in horizontaler Richtung eine Bewegung, welche den Undulationen oder Biegungen eines vom Winde bewegten Bandes oder einer Fahne nicht unähnlich ist. Manchmal verlässt einer der Füsse oder selbst beide den Horizont; dann werden diese Biegungen zahlreicher und deutlicher; der Bogen erscheint nur als ein langes Strahlenband, welches sich entwickelt, sich in mehrere Theile trennt und graziöse Windungen bildet, welche sich fast selbst schliessen und das bilden, was man wohl die Krone genannt hat. Alsdann ändert sich plötzlich die Lichtintensität der Strahlen; sie übertrifft die der Sterne erster Grösse; die Strahlen schiessen mit Schnelligkeit, die Biegungen bilden und entwickeln sich wie die Windungen einer Schlange; nun färben sich die Strahlen, die Basis ist roth, die Mitte grün, der übrige Theil behält ein blassgelbes Licht. Diese Farben behalten immer ihre gegenseitige Lage und haben eine bewundernswürdige Durchsichtigkeit. Das Roth nähert sich einem hellen Blutroth, das Grün einem blassen Smaragdgrün."

„Der Glanz nimmt ab, die Farben verschwinden, die ganze Erscheinung erlischt entweder plötzlich, oder sie wird nach und nach schwächer. Einzelne Stücke des Bogens erscheinen wieder, er bildet sich von Neuem, er setzt seine aufsteigende Bewegung fort und nähert sich dem Zenith; die Strahlen erscheinen durch die Perspective immer kürzer; alsdann erreicht der Gipfel des Bogens das magnetische Zenith, einen Punkt, nach welchem die Südspitze der Inclinationsnadel hinweist. Nun sieht man die Strahlen von ihrem Fusse aus. Wenn sie sich in diesem Augenblicke färben, so zeigen sie ein breites rothes Band, durch welches hindurch man die grüne Färbung der oberen Theile erblickt."

„Unterdessen bilden sich neue Bogen am Horizonte, welche entweder anfangs verschwommen erscheinen, oder durch lebhafte Strahlen

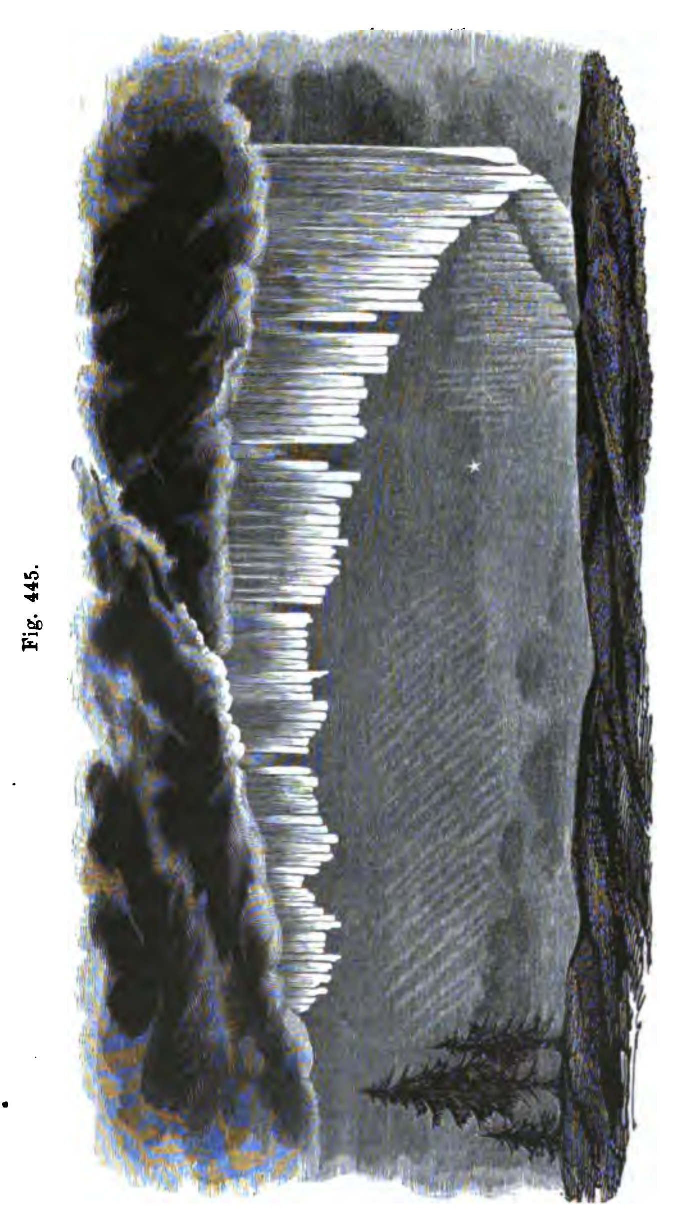


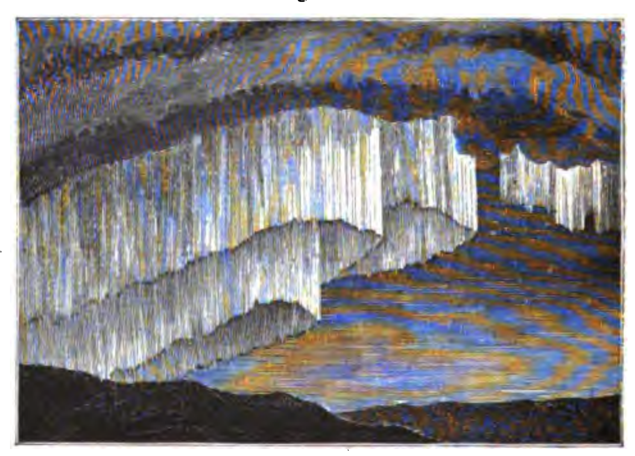
Fig. 445.

gebildet sind. Sie folgen einander, indem alle fast dieselben Phasen durchlaufen und in bestimmten Zwischenräumen von einander bleiben;

man hat deren bis zu neun gezählt, welche, auf die Erde gestützt, durch ihre Anordnung an die oberen Coulissen unserer Theater erinnern, die, auf die Seitencoulissen gestützt, den Himmel der Theaterscene bilden. Manchmal werden die Zwischenräume kleiner, mehrere dieser Bogen drängen einander. — So oft die Strahlen am hohen Himmel das magnetische Zenith überschritten haben, scheinen sie von Süden her nach diesem Punkte zu convergiren und bilden alsdann mit den übrigen von Norden kommenden die eigentliche Krone. Die Erscheinung der Krone ist ohne Zweifel nur eine Wirkung der Perspective, und ein Beobachter, welcher in diesem Augenblicke weiter nach Süden hin sich befindet, wird sicherlich nur einen Bogen sehen können."

„Denkt man sich nun ein lebhaftes Schiessen von Strahlen, welche beständig sowohl in Beziehung auf ihre Länge, als auf ihren Glanz sich ändern, dass sie die herrlichsten rothen und grünen Farbentöne zeigen,

Fig. 446.



dass eine wellenartige Bewegung stattfindet, dass Lichtströme einander folgen und endlich, dass das ganze Himmelsgewölbe eine ungeheure prächtige Lichtkuppel zu sein scheint, welche über einen mit Schnee bedeckten Boden ausgebreitet ist und einen blendenden Rahmen für das ruhige Meer bildet, welches dunkel ist wie ein Asphaltsee, so hat man eine unvollständige Vorstellung von diesem wunderbaren Schauspiele, auf dessen Beschreibung man verzichten muss."

„Die Krone dauert nur einige Minuten; sie bildet sich manchmal plötzlich, ohne dass man vorher einen Bogen wahrnahm. Selten sieht man zwei in einer Nacht, und viele Nordlichter zeigen keine Spur davon."

„Die Krone wird schwächer, das ganze Phänomen ist nun südlich vom Zenith, immer blassere Bogen bildend, welche in der Regel verschwinden, ehe sie den südlichen Horizont erreichen. Gewöhnlich beobachtet man dies Alles nur in der ersten Hälfte der Nacht; nachher

scheint das Nordlicht seine Intensität verloren zu haben, die Strahlen scheinen verwaschen, sie bilden schwache, unbestimmt begrenzte Lichtschimmer, welche endlich, kleinen Cumulus ähnlich, auf dem Himmel gruppirt sind. — Allmählich erscheint die Morgenröthe, die Erscheinung wird immer schwächer und endlich ganz unsichtbar."

„Manchmal sieht man die Strahlen noch, wenn der Tag schon angebrochen, wenn es schon so hell ist, dass man lesen kann; dann aber verschwinden sie schnell, oder sie werden vielmehr um so unbestimmter, je mehr die Helligkeit zunimmt, sie nehmen eine weissliche Farbe an und vermischen sich so mit den Cirrostratus, dass man sie nicht mehr von diesen Wolken unterscheiden kann."

Fig. 445 (a. S. 875) und Fig. 446 stellen zwei zu Bossekop beobachtete Nordlichter dar. Tafel LX giebt die Zeichnungen von sogenannten Draperien-Nordlichtern in der Art der Fig. 446, welche 1882 und 1883 in Kingua Fjord beobachtet wurden.

Beziehungen des Nordlichtes zum Erdmagnetismus. 296
Das Nordlicht, welches Humboldt sehr bezeichnend ein magnetisches Gewitter nennt, steht, wie bereits bemerkt wurde, in mannigfacher Beziehung zum Erdmagnetismus. So haben wir bereits gesehen, dass der Gipfel des Nordlichtbogens im magnetischen Meridian liegt, und dass der Mittelpunkt der Nordlichtkrone derjenige Punkt des Himmelsgewölbes ist, nach welchem das Südende der Inclinationsnadel hinweist. Dazu kommt aber noch, dass während eines Nordlichtes die Declinationsnadel in ungewöhnlich starke Schwankungen geräth. Dieser Umstand wurde bereits im Jahre 1740 von Celsius und Hiorter entdeckt. Durch Vergleichungen von Beobachtungen der Magnetnadel, welche gleichzeitig an sehr entfernten Orten, wie zu Upsala und zu London, gemacht worden waren, fand sich, dass dieselben Bewegungen der Magnetnadel sich an beiden Orten, und zwar um so stärker geäussert hatten, je lebhafter und je weiter verbreitet am Himmel das Nordlicht gewesen war.

In Fig. 2 auf Tab. 24 ist der Verlauf der magnetischen Declination gezeichnet, wie er in Alten und Upsala während eines Nordlichtes beobachtet wurde.

Hansteen beschreibt den Einfluss der Nordlichter auf die Magnetnadel in folgender Weise: „Ist das Nordlicht lebhaft, so wird die Abweichungsnadel unruhig, sie weicht in Zeit von wenigen Minuten um 3, 4, ja um 5 Grad von ihrer gewöhnlichen Stellung ab und hat zuweilen eine sehr veränderliche Bewegung, zum Beweise, dass in dieser Zeit die Magnetkräfte der Erde in grosser Unruhe sind. Kurz vor dem Erscheinen des Nordlichtes kann die Intensität des Erdmagnetismus bis zu einer ungemeinen Höhe steigen; sobald aber das Nordlicht beginnt, nimmt die Intensität des Erdmagnetismus in demselben Verhältniss ab, in welchem das Nordlicht lebhafter wird, indem er seine frühere Stärke nur successiv, oft erst nach Verlauf von 24 Stunden wieder erhält. —

Die Nordlichter scheinen demnach eine Lichtentwickelung zu sein, welche die Entladung des ungewöhnlich stark angehäuften Erdmagnetismus begleitet."

Ein für die magnetische Wirkung der Nordlichter charakteristischer Umstand besteht darin, dass das Nordende der Declinationsnadel von seiner normalen Lage vorzugsweise nach Westen abgelenkt wird. Nur vorübergehend wechselt diese westliche Ablenkung mit einer viel geringeren östlichen.

Eine ungewöhnliche Unruhe der Magnetnadel erstreckt sich aber nicht allein auf diejenigen Gegenden, in welchen das Nordlicht selbst sichtbar ist, sondern sie wird noch an Orten beobachtet, welche dem Schauplatze des Nordlichtes mehr oder weniger fern sind, so dass man aus bedeutenderen Störungen der Magnetnadel wohl stets auf ein, wenn auch nur in entfernteren Gegenden sichtbares Nordlicht schliessen kann. Arago hat diesem Umstand eine ganz besondere Aufmerksamkeit zugewendet. (F. Arago's sämmtliche Werke, 4. Bd.)

Am unzweifelhaftesten ergiebt sich die Beziehung des Nordlichtes zum Erdmagnetismus, wenn man sucht, die wahre Lage der Nordlichtstrahlen zu ermitteln. Eine genauere Prüfung führt nämlich stets zu dem Resultat, dass diese Strahlen mit der Richtung der Neigungsnadel zusammenfallen, d. h. dass die wahre Richtung der Strahlen dieselbe ist, wie diejenige, welche eine an ihre Stelle gebrachte nach allen Seiten hin bewegliche Neigungsnadel annehmen würde. Die verschiedenen Formen, unter welchen das Nordlicht erscheint, erklären sich, nachdem einmal diese Thatsache festgestellt ist, als eine Wirkung der Perspective, welche sich ändert, je nachdem der Beobachter verschiedene Stellungen gegen die Strahlengruppen einnimmt.

297 **Höhe, Ausdehnung, geographische Verbreitung und Periodicität der Nordlichter.** Die älteren Naturforscher waren der Ansicht, dass der Ursprung der Nordlichter noch über den Grenzen der Atmosphäre zu suchen sei. Diese Ansicht war jedenfalls eine irrige. Wenn das Nordlicht sich ausserhalb unserer Atmosphäre befände, so könnte es an der täglichen Umdrehung der Erde keinen Antheil nehmen, es müsste also die scheinbare tägliche Bewegung des Fixsternhimmels theilen, was entschieden nicht der Fall ist; im Gegentheil verhält sich das Nordlicht gegen das Himmelsgewölbe durchaus wie ein irdischer Gegenstand; es ist also keinem Zweifel unterworfen, dass sich das Nordlicht innerhalb unserer Atmosphäre bildet.

Aber welches ist seine Höhe über der Erdoberfläche? Um diese Frage zu beantworten, verglich man die scheinbare Höhe, in welcher der Gipfelpunkt des Lichtbogens eines und desselben Nordlichtes von verschiedenen Beobachtern gesehen wurde, welche sich an mehr oder weniger weit von einander entfernten, wo möglich auf demselben magnetischen Meridian liegenden Orten befanden. Dergleichen Bestimmungen führten

nun zu sehr verschiedenen Resultaten, was sehr begreiflich ist, wenn man bedenkt, dass es sehr zweifelhaft ist, ob die verschiedenen Beobachter eines und desselben Nordlichtbogens bei ihren Messungen wirklich denselben Punkt einvisirt und gleichzeitig gemessen haben. Daher kommt es auch, dass sich sogar für ein und dasselbe an sehr vielen Orten beobachtete Nordlicht sehr verschiedene Höhen ergeben, je nachdem man diese oder jene Beobachtungen mit einander combinirt.

So findet z. B. Hansteen für das Nordlicht vom 7. Januar 1831 die Höhe von 26 geographischen Meilen, indem er die Messungen der scheinbaren Höhe des Bogens von Berlin und Christiansand in Norwegen combinirt, während Christie aus verschiedenen in England angestellten Beobachtungen desselben Nordlichtes eine Höhe von 5 bis 25 englischen Meilen berechnet.

Die Bestimmungen neuerer Physiker weisen den Nordlichtern eine weit geringere Höhe an, als man früher annahm. Nach Mairan sollte die mittlere Höhe der Nordlichter 120, nach Cavendish (1790) soll sie 60, und nach Dalton (1828) nur 18 geographische Meilen betragen.

Farquharson endlich macht es wahrscheinlich, dass die Nordlichter, wie dies auch schon früher z. B. von Wrangel ausgesprochen worden ist, bis in die Region der Wolken heruntergehen; er stützt sich dabei unter Anderem auf eine Nordlichtbeobachtung vom 20. December 1829. Er sah nämlich von $8^1/_2$ bis 11 Uhr Nachts zu Alford in Aberdeenshire ein sehr glänzendes Nordlicht über einer dichten Wolkenmasse, welche die Spitzen der nördlich von seiner Wohnung liegenden Correnhügel bedeckte. Obgleich der übrige Theil des Himmels heiter war, so stieg das Nordlicht doch nie höher als 20⁰. Gleichzeitig sah der Prediger Paull zu Tullynessle, welches zwei englische Meilen nördlich von Alford in einem engen Seitenthale der erwähnten Hügelreihe liegt, um $9^1/_4$ Uhr Abends das Nordlicht sehr hell in der Nähe des Zeniths. Demnach würde die Höhe dieses Nordlichtes höchstens 1300 m betragen haben.

Diese Ansicht wird nun auch durch vielfache, in neuerer Zeit in den Polargegenden gemachte Beobachtungen unterstützt, und namentlich auch von Parry, Franklin, Hood und Richardson vertreten. Franklin beobachtete Nordlichter, welche zwischen einer Wolkenschicht und der Erde befindlich waren und welche die untere Fläche dichter Wolken erleuchteten.

So viel ist gewiss, dass sich das Phänomen des Nordlichtes in sehr verschiedenen Höhen bildet, dass sie aber schwerlich je über eine Höhe von 150 km hinausgehen.

Die in geringen Höhen sich bildenden Nordlichter, wie sie in den Polarregionen öfters vorkommen, sind auch nur in geringen Entfernungen sichtbar. So führt Hood ein Nordlicht an, welches er am 2. April 1820 in Cumberland-House (im britischen Nordamerika, auf den magnetischen Karten des Atlas verzeichnet) als einen glänzenden Bogen in 10⁰ Höhe

beobachtete, und von welchem man 55 englische Meilen südwestlich nichts wahrnahm; und ein anderes Nordlicht, welches am 6. April mehrere Stunden im Zenith von Cumberland-House stand, erschien 100 englische Meilen südwestlich nur noch als ein ruhiger, ungefähr 9⁰ hoher Bogen.

Ein Umstand, welcher gleichfalls dafür sprechen würde, dass sich die Nordlichter in sehr geringen Höhen bilden, wäre das Geräusch, welches manchmal ihre Erscheinung begleiten soll, wenn die Nachrichten über dasselbe zuverlässig sind. Dieses Geräusch wird von Einigen mit demjenigen verglichen, welches entsteht, wenn ein Stück Seidenzeug über einander gerollt wird, von Anderen, wie Parrot, mit dem Geräusch der stark vom Winde getriebenen Flamme einer Feuersbrunst. In Sibirien soll, wie Gmelin erzählt wurde, das Nordlicht oft mit so heftigem Zischen, Platzen und Rollen verbunden sein, dass man ein Feuerwerk zu hören glaubt, und dass sich die Hunde der Jäger, von solchen Nordlichtern überfallen, vor Angst auf den Boden legten.

Von anderer Seite wird aber die Existenz eines solchen Geräusches vielfach bezweifelt. Mehrere Beobachter, welche häufig in Schweden und Norwegen Gelegenheit hatten, das Phänomen des Nordlichtes zu beobachten, versichern, nie das geringste Geräusch gehört zu haben. So sagt Wrangel von seinem Aufenthalt an den Küsten des sibirischen Eismeeres: Wir hörten beim Erscheinen der Säulen kein Krachen, überhaupt kein Geräusch. Nur wenn ein Nordlicht eine grosse Intensität hatte, wenn die Strahlen sich oft nach einander bildeten, däuchte es uns, als hörte man etwas, wie ein schwaches Blasen des Windes in die Flamme. Parry, welcher bei seinem mehrmaligen Aufenthalte in den Polargegenden sehr oft die Erscheinung des Nordlichtes beobachtete, und Franklin, welcher am Bärensee deren 343 sah, versichern, nie ein Geräusch gehört zu haben, und sind der Meinung, dass das, was man für ein Geräusch des Nordlichtes hielt, wohl nichts als das Rauschen des Windes selbst oder das Krachen des in den hellen kalten Nordlichtnächten berstenden Eises gewesen sei.

Auch bei Gelegenheit der deutschen Polarexpedition in Kingua Fjord ist nie ein mit dem Nordlicht zusammenhängendes Geräusch gehört worden.

Während die Sichtbarkeit der meisten in den Polargegenden sich bildenden Nordlichter nur auf einen geringen Umkreis beschränkt bleibt, gewinnt manchmal das Phänomen des Nordlichtes eine überraschende Ausdehnung. So war z. B. das schöne Nordlicht vom 7. Januar 1831 im ganzen nördlichen und mittleren Europa, sowie auch am Eriesee in Nordamerika sichtbar. In solchen Fällen ist es klar, dass man an weit entfernten Orten nicht dieselben leuchtenden Strahlen sah, dass man also in dem eben angeführten Falle am Eriesee eine andere Partie des Phänomens wahrnahm als in Europa. Wahrscheinlich hatte sich damals ein ungeheurer Strahlenkamm gebildet, welcher ungefähr der Richtung eines magnetischen Parallels folgend, mit oder ohne Unterbrechung vom

Eriesee sich über den Atlantischen Ocean bis nach Norwegen und Schweden hinzog.

In den südlichen Polarregionen bildet sich ein ähnliches Lichtphänomen wie das, welches wir bisher besprochen haben, und welches man mit dem Namen des Südlichtes bezeichnet hat. Solche Südlichter sind von verschiedenen Seefahrern und namentlich von Cook gesehen und beschrieben worden.

Man hat die Nord- und die Südlichter mit dem gemeinsamen Namen der Polarlichter bezeichnet.

Eine sehr merkwürdige Thatsache ist es, dass sehr oft Nord- und Südlichter zu gleicher Zeit erscheinen. So wurden z. B. im Jahre 1783 zu Rio de Janeiro Südlichter gesehen, während gleichzeitig auf der nördlichen Hemisphäre Nordlichter beobachtet wurden. Dasselbe gilt für viele der Südlichter, von welchen Cook berichtet. Er sah Südlichter am 18., 21. und 25. Februar und am 16. März 1773, während van Swinden von Nordlichtern berichtet, welche er an denselben Tagen zu Franecker in Friesland gesehen hat. Ebenso ist das gleichzeitige Erscheinen von Nordlichtern zu Christiania und von Südlichtern zu Hobarttown auf Van Diemens Land constatirt. Ferner ist bei Gelegenheit der Polarexpedition 1882 bis 1883 häufig gleichzeitig auf nördlichen und südlichen Stationen ein Polarlicht beobachtet worden.

Es ist schon seit längerer Zeit bekannt, dass die Häufigkeit der Nordlichter keineswegs ihr Maximum bei dem geographischen oder dem magnetischen Nordpole hat. Die meisten Nordlichter sind auf einer genähert elliptischen Curve sichtbar, deren Mittelpunkt beiläufig in der Gegend des nördlichsten Punktes von Grönland liegt, welcher bisher von Seefahrern erreicht ist. Die Linie grösster Häufigkeit geht beim Nordcap vorbei nach Nowaja Semlja, streift die nördlichen Ufer Asiens, wo sie etwa 100° ö. v. Gr. ihre grösste nördliche Breite von 77° erreicht, trifft die Nordwestküste Nordamerikas unter 70° Breite, verläuft dann nach der Hudsonsbay und Labrador, erreicht hier und südlich von Grönland ihre südlichste Breite von 57°, durchschneidet südlich von Island den 60. Breitengrad und geht dann wieder nach dem Nordcap. Es geht hieraus hervor, dass im westlichen Europa und östlichen Nordamerika die Gewitter viel häufiger sind, als in gleichen Breiten in Asien.

Auf der südlichen Halbkugel wird vermuthlich die Verbreitung der Nordlichter eine ähnliche sein, doch ist die Curve der grössten Häufigkeit hier bisher ihrer Lage nach nicht näher festgestellt. Thatsächlich nähert sie sich aber mehr Australien als Südamerika, wie bekanntlich auch der magnetische Südpol, was aus der verhältnissmässig grossen Häufigkeit der Südlichter in Australien geschlossen werden kann.

Die Zone der grössten Häufigkeit der Nordlichter scheint übrigens nicht immer die gleiche Lage zu behalten, sondern rückt zuweilen etwas südlicher und zuweilen etwas nördlicher. Es zeigen sich hier periodische

Schwankungen, welche im Zusammenhange stehen mit der Periode der Häufigkeit der Nordlichter überhaupt.

Diese Periode läuft nun, wie Fritz und R. Wolf nachgewiesen haben, parallel mit der Häufigkeit der Sonnenflecken, so dass die Nordlichter am häufigsten erscheinen, wenn die Sonne die zahlreichsten Flecken zeigt. Es wurde schon früher erwähnt, dass nach R. Wolf's Untersuchungen die Häufigkeit der Sonnenflecken eine elfjährige Periode hat, und einen ganz ähnlichen Verlauf hat auch die Variation der magnetischen Elemente und die Häufigkeit der Nordlichter. Es kann natürlich nicht die Rede sein von einem directen Einflusse der Sonnenflecken auf die magnetische Thätigkeit der Erde, sondern es liegt wohl nur eine unbekannte Ursache vor, welche auf die Häufigkeit der genannten Erscheinungen bestimmend einwirkt.

Auch eine jährliche und eine tägliche Periode besitzen die Polarlichter. Sowohl auf der nördlichen als auch auf der südlichen Halbkugel treten die meisten Polarlichter nicht etwa im Winter, sondern im Herbst und Frühling auf. Ferner sind die Polarlichter vorzugsweise bald nach Sonnenuntergang, seltener in den Morgenstunden sichtbar.

298 **Das Spectrum des Nordlichtes.** Nachdem man die Lichterscheinungen beobachtet hatte, welche in den verdünnten Gasen der Geissler'schen Röhren auftreten, wenn man elektrische Entladungen durch sie hindurchsendet, lag die Idee nahe, dass auch das Licht der aurora borealis von einer in der verdünnten Luft der höheren Regionen der Atmosphäre sich vollziehenden elektrischen Ausströmung herrühre. Diese Vermuthung ist jedoch durch die Spectralanalyse des Nordlichtes noch keineswegs entschieden bestätigt worden.

Nach Angström's Beobachtungen besteht das Spectrum des leuchtenden Bogens, welchen das dunkle Segment umsäumt, aus einer einzigen hellen Linie zwischen D und E, deren Lage in Fig. 249 auf S. 438 durch eine punktirte Linie angedeutet ist. Ausser dieser verhältnissmässig hellen Linie beobachtete er bei erweitertem Spalt nur noch drei ganz schwache Streifen gegen F. hin. Fig. 8 auf Tab. 10 stellt das von Zöllner mit einem Browning'schen Miniaturspectroskop beobachtete Spectrum des prachtvollen Nordlichtes vom 25. Octbr. 1870 dar. Ausser der Angström'schen Nordlichtlinie, welche für alle Stellen des Nordlichtes mit hervorragender Helligkeit glänzte, zeigte sich die rothe Linie nur an solchen Stellen des Himmels, welche auch dem unbewaffneten Auge stark geröthet erscheinen. Im blauen Theile des Spectrums traten nur zuweilen bandartige Streifen auf. Im Wesentlichen stimmen hiermit auch die Resultate anderer Beobachter überein.

Zöllner hat dargethan, dass das Spectrum des Nordlichtes nicht mit dem Spectrum irgend eines verdünnten Gases in den Geissler'schen Röhren übereinstimmt, dass sich die hellen Nordlichtlinien in keinem jener Gasspectra wiederfinden, wie dies auch Angström bereits

für die hellste der Nordlichtlinien gefunden hatte. Daraus folgert dann Zöllner, dass, wenn die Lichtentwickelung beim Nordlicht überhaupt elektrischer Natur ist, wie die Lichtentwickelung der verdünnten Gase in Geissler'schen Röhren, dieselbe einer so niedrigen Temperatur angehören müsse, wie man sie beim Experimentiren mit Geissler'schen Röhren nicht wohl herstellen könne.

De la Rive's Theorie des Nordlichtes. In dem 14. Bande der Archives des sciences physiques et naturelles (1862) entwickelt De la Rive seine Theorie der Polarlichter ungefähr in folgender Weise: 299

Durch directe Beobachtungen ist dargethan, dass das Meerwasser beständig mit positiver Elektricität geladen ist; die von ihm aufsteigenden Dämpfe tragen diese Elektricität in die höheren Regionen der Atmosphäre, welche alsdann durch den rückkehrenden Passat den Polen zugeführt, eine positive Hülle für die Erde bildet, welche selbst mit negativer Elektricität geladen bleibt. Da nun aber die Erde sowohl wie die sehr verdünnte Luft der höheren Regionen gute Leiter sind, so kann man sie den beiden Platten eines Condensators vergleichen, dessen isolirende Schicht durch die unteren Lagen der Atmosphäre gebildet wird. Durch ihren gegenseitigen Einfluss werden sich nun die entgegengesetzten Elektricitäten vorzugsweise da verdichten, wo die positive Luftschicht und die negative Erde einander am nächsten sind, also in der Nähe der Pole. Sobald die entgegengesetzten Elektricitäten hier eine gewisse Spannung erreicht haben, welche nicht überschritten werden kann, muss eine Ausgleichung in Form mehr oder minder häufiger Entladungen erfolgen. Diese Entladungen müssen nahezu gleichzeitig an beiden Polen stattfinden. Es ist einleuchtend, dass die Neutralisation der entgegengesetzten Elektricitäten nicht auf einmal, sondern in Anbetracht der schlechten Leitungsfähigkeit des Mittels, durch welches hindurch sie stattfindet, nur in successiven, mehr oder weniger continuirlichen Entladungen von veränderlicher Intensität stattfinden kann.

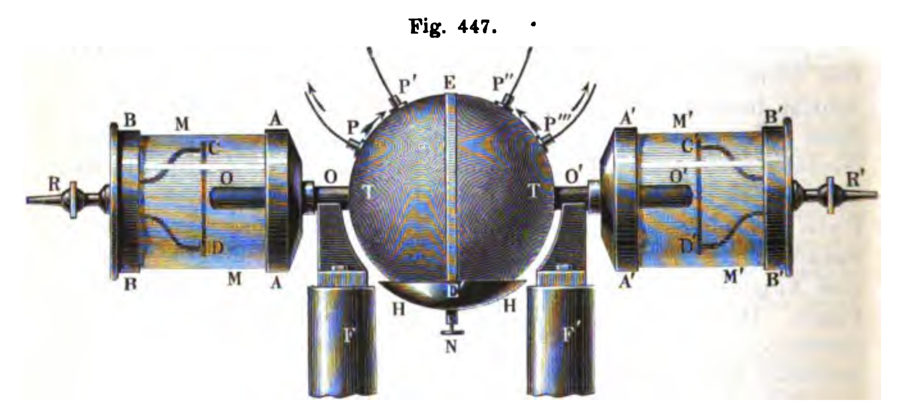
Während nun in der Nähe der Pole eine solche elektrische Entladung stattfindet, muss auf der Erde die negative Elektricität vom Aequator nach den Polen, die positive von den Polen nach dem Aequator strömen; unter dem Einflusse eines solchen Stromes aber muss das Nordende der Declinationsnadel auf der nördlichen Hemisphäre nach Westen abgelenkt werden, wie dies nach §. 296 auch in der That der Fall ist; die Grösse der Ablenkung wird aber eine sehr veränderliche sein, weil die Stärke der elektrischen Entladung und also auch die Stärke des fraglichen Erdstromes fortwährenden Schwankungen unterliegt.

Dieser Strom lässt sich aber auch in Telegraphendrähten nachweisen, wenn man zwischen zwei Stationen, von denen die eine nördlich von der anderen liegt, in passender Weise einen Multiplicator einschaltet. Die Nadel des Multiplicators wird in Schwankungen gerathen, sobald ein Nordlicht erscheint, und zwar wird sie vorzugsweise so abgelenkt, dass

sie einen positiven vom Pol zum Aequator gehenden Strom anzeigt. Die Grösse dieser Ablenkung ist aber eine stets wechselnde, und manchmal geht sie, wenn auch nur vorübergehend, in eine entgegengesetzte, einen vom Aequator zum Pol gerichteten Strom anzeigende über. — Die Ablenkung der Multiplicatornadel ist aber keineswegs ein richtiges Maass für den fraglichen Erdstrom, weil dessen Stärke durch die Polarisation der Erdplatten modificirt wird. Hört z. B. der Strom, nachdem er eine Zeit lang vom Pol zum Aequator gerichtet war, für kurze Zeit ganz auf, so erfolgt nun eine Entladung der galvanischen Polarisation der Erdplatten, welche einen dem vorigen entgegengesetzten Strom durch den Multiplicator hindurchsendet, ohne dass ein positiver Erdstrom vom Aequator zum Pole geht.

Uebrigens treten solche vom Aequator zum Pol gerichtete Ströme während der Nordlichterscheinung wirklich auf, wie uns die Ablenkung der Declinationsnadel zeigt. Es lässt sich dies aber leicht erklären. Die

Fig. 447.



gleichzeitigen Entladungen an den beiden Erdpolen, welche die Erscheinung der Nord- und Südlichter hervorbringen, sind alternirend bald am einen, bald am anderen Pole stärker und können vorübergehend an dem einen Pole ganz aufhören, während sie am anderen fortdauern. In solchen Momenten muss dann zu dem Pole, an welchem gerade eine kräftige Ausstrahlung stattfindet, die negative Elektricität nicht allein vom Aequator, sondern selbst vom anderen Pol her zuströmen, auf der Hemisphäre des eben pausirenden Pols geht also in solchen Momenten der positive Strom vom Aequator zum Pole hin.

Um die Erscheinung der Polarlichter und alle dieselben begleitenden Phänomene künstlich nachzubilden, hat **De la Rive** einen Apparat construirt, welchen Fig. 447 in $^1/_{12}$ bis $^1/_{14}$ der natürlichen Grösse darstellt. *T* ist eine Kugel von Holz, welche die Erde darstellt. Diametral gegenüber stehend sind in diese Holzkugel die Eisenstäbe *O O* und *O' O'* eingesetzt, deren jeder 3 bis 4 cm Durchmesser und eine Länge von 8 bis 10 cm. hat. Diese Eisenstäbe ruhen auf eisernen Stützen, welche auf die

Pole F und F' eines kräftigen Elektromagnets aufgeschraubt sind. Wird der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, so bilden O und O' die magnetischen Pole der Kugel T.

Die Eisenstäbe OO und $O'O'$ sind bis auf ihre Endfläche von einer isolirenden Schicht eingehüllt; der eine ist von dem Glascylinder MM, der andere von dem Glascylinder $M'M'$ umgeben, deren jeder durch zwei Metallplatten hermetisch verschlossen ist. Durch die nach Innen gekehrte Deckplatte (AA und $A'A'$) tritt der Eisenstab in die Höhlung des Glascylinders ein, während die äussere Deckplatte (BB und $B'B'$) mittelst zweier metallischer, aber mit wohl isolirendem Firniss überzogener Arme einen Drahtring (CD und $C'D'$) von rein metallischer Oberfläche trägt, welcher das freie Ende des entsprechenden Eisenstabes concentrisch umgiebt. Jede der äusseren Deckplatten trägt nach Aussen hin eine Röhre mit einem Hahn (R und R'), mittelst deren man die Glascylinder evacuiren und mit beliebigen Gasen füllen kann.

Um mit dem Apparat zu experimentiren, werden zwei Bänder von starkem Löschpapier um die Kugel herumgelegt, das eine, EE', den Aequator der Kugel bildend, während das andere, von E' ausgehend, zu dem Eisenstab auf der rechten Seite der Kugel geführt wird, von da über E zum Eisenstab auf der linken Seite der Kugel und von da endlich nach E' zurück, so dass das letztere Band einen durch die beiden Pole gehenden Meridian darstellt. Auf diesem Meridianstreifen sind zu beiden Seiten des Aequators kleine Messingsäulchen P und P' aufgesetzt, deren Basis 1 bis 2 qcm beträgt und welche mittelst einer kleinen Schraube in die Holzkugel eingelassen sind; in diese Säulchen werden die Zuleitungsdrähte eingesetzt, welche zu einem 10 bis 12 m entfernten Multiplicator führen. Die Streifen von Löschpapier werden mit Salzwasser befeuchtet, und um sie feucht zu erhalten, ist an dem unteren Ende der Kugel mittelst eines in das Holz eingeschraubten Messingsäulchens N eine Messingschale befestigt, in welche etwas Salzwasser eingegossen wird.

Dieses Messingsäulchen N wird nun mit dem negativen Pol eines Ruhmkorff'schen Apparates verbunden, während der positive Pol desselben mittelst eines in zwei Arme sich theilenden Leitungsdrahtes mit den äusseren Deckplatten BB und $B'B'$ in Verbindung gesetzt wird. Sobald der Ruhmkorff'sche Apparat in Thätigkeit gesetzt wird, erscheint bei gehöriger Evacuirung der Glascylinder ein Lichtbüschel, welcher von dem Metallring (CD oder $C'D'$) zum Rande des Eisenkernes übergeht, und zwar abwechselnd in dem einen und dann wieder in dem anderen Glascylinder, selten in beiden zugleich.

Wird nun auch der Elektromagnet in Thätigkeit gesetzt, so breitet sich der Lichtstreif aus und nimmt eine rotirende Bewegung an, deren Richtung von der Polarität des Eisenkernes abhängt. Man hat hier eine treue Nachbildung der Nordlichterscheinung, wenn der Nordlichtbogen Lichtstrahlen in die höheren Regionen der Atmosphäre schiesst.

Die ganze Erscheinung ändert ihren Charakter, sobald man den Strom des Ruhmkorff'schen Apparates umkehrt, also den positiven Strom vom Eisenkerne zum Metallring gehen lässt.

Schaltet man nun, während der positive Strom vom Ring zum Eisenkerne geht, zwischen zwei Metallsäulchen P und P' derselben Hemisphäre mittelst entsprechender Leitungsdrähte einen 10 bis 12 m entfernten Multiplicator als Nebenschliessung ein, so erfolgt eine Ablenkung der Nadel von 70 bis 80°, welche einen in der Richtung der kleineren Pfeile circulirenden Strom andeutet, wenn die Entladung gerade an dem Pole der gleichen Hemisphäre (in unserem Falle also zwischen CD und OO) stattfindet, während eine weit kleinere, nur 25 bis 30 Grad betragende, entgegengesetzt gerichtete Ablenkung der Multiplicatornadel in solchen Momenten auftritt, in welchen die Entladung am anderen Pole (in unserem Falle also zwischen $C'D'$ und $O'O'$) erfolgt.

Also auch in dieser Beziehung liefert der Apparat eine treue Nachbildung der Erscheinungen, welche das Nordlicht begleiten.

Eine Schwierigkeit, welche der De la Rive'schen Theorie des Nordlichtes entgegentritt, kann jedoch nicht unerwähnt bleiben. Nach De la Rive ist das Meer überall positiv elektrisch; da nun aber die Erdpole, namentlich aber der Südpol der Erde, ringsum vom Meere umgeben sind, so ist nicht einzusehen, wie die negative Elektricität überall ungehindert den Polarregionen zuströmen kann. Da jedoch die fragliche Theorie sonst viel Wahrscheinlichkeit hat, so lässt sich hoffen, dass es gelingen wird, auch diese Schwierigkeit zu heben.

Dass die Nordlichter elektrischen Ursprungs sind, wurde durch Versuche bestätigt, welche Lemström in den Jahren 1871 sowie 1882 bis 1884 ausgeführt hat. Derselbe stellte auf Berggipfeln ein System isolirter, aber unter sich verbundener Ausströmungsspitzen auf und führte von ihnen eine isolirte Leitung in das Thal. Hier wurde die Leitung durch ein Galvanometer und in die Erde geführt; dann zeigten sich positive elektrische Ströme, welche aus der Atmosphäre zur Erde gingen, und gleichzeitig erhoben sich gelblichweisse Lichtsäulen über dem Ausströmungsapparate, welche eine Höhe bis zu 120 m erreichte. In diesem Lichte zeigte sich im Spectroskop die charakteristische Nordlichtlinie zwischen D und E des Fraunhofer'schen Spectrums.

ALPHABETISCHES SACH- UND NAMENREGISTER.

(Die Zahlen beziehen sich auf die Seiten.)

A.

B.

C.

D.

E.

F.

G.

H.

K.

L.

M.

N.

Q.

R.

S.

T.

U.

V.

W.



Druckfehler und Verbesserungen.

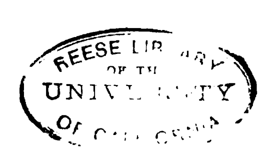
Seite 48, Zeile 10 v. o. statt 890 lies 290.
Seite 131, Zeile 3 v. u. statt 22 lies 23.
Seite 131, Zeile 2 v. u. statt 315 lies 317.
Seite 131, Zeile 1 v. u. statt 161 Tage 22 Stunden liess 174 Tage 5 Stunden.
Seite 136, Zeile 7 v. o. statt „Galiläi" lies „Galilei".
Seite 145, Zeile 16 v. o. ist „11 und 21" zu streichen.
Seite 145, Zeile 16 v. o. statt „befand" lies befindet".
Seite 145, Zeile 21 v. o. statt „1. Januar" lies „1. Januar und 1. Juli".
Seite 145, Zeile 21 v. u. statt „eines Monats" lies „von $1\frac{1}{2}$ Monaten".
Seite 145, Zeile 18 v. u. statt „Jupiter, Saturn und Uranus" lies „Jupiter und Saturn".
Seite 145, Zeile 17 v. u. statt „am 1. jedes Monats" lies „am 1. Januar resp. 1. Juli".
Seite 169, Zeile 9 v. o. statt „Galiläi" lies „Galilei".
Seite 215, Zeile 13 v. u. statt „Lassel" lies „Lassell".
Seite 282, Zeile 18 v. u. statt 277 lies 276.
Seite 311, Zeile 9 v. u. statt 175 lies 174.
Seite 363, Zeile 15 v. o. statt Fig. 194 lies Fig. 200.
Seite 364, Zeile 9 v. u. statt „Ophiuchis" lies „Ophiuchi".
Seite 531, Zeile 1 v. o. statt „Grad" lies „Graden".
Seite 752, Zeile 19 v. u. statt „dass der Regen" lies „dass überhaupt in den Tropen der Regen".
Seite 762, Zeile 13 v. o. statt „Freiberg" lies „Freiburg".
Seite 881, Zeile 11 v. u. statt „die Gewitter" lies „die magnetischen Gewitter".

Tab. 1.

Die Sternbilder Orion und Stier.



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.



Tab. 2.

Die Sternbilder Leyer und Schwan.



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.



Tab. 3.

Die scheinbare Bewegung der Venus im Jahre 1847.

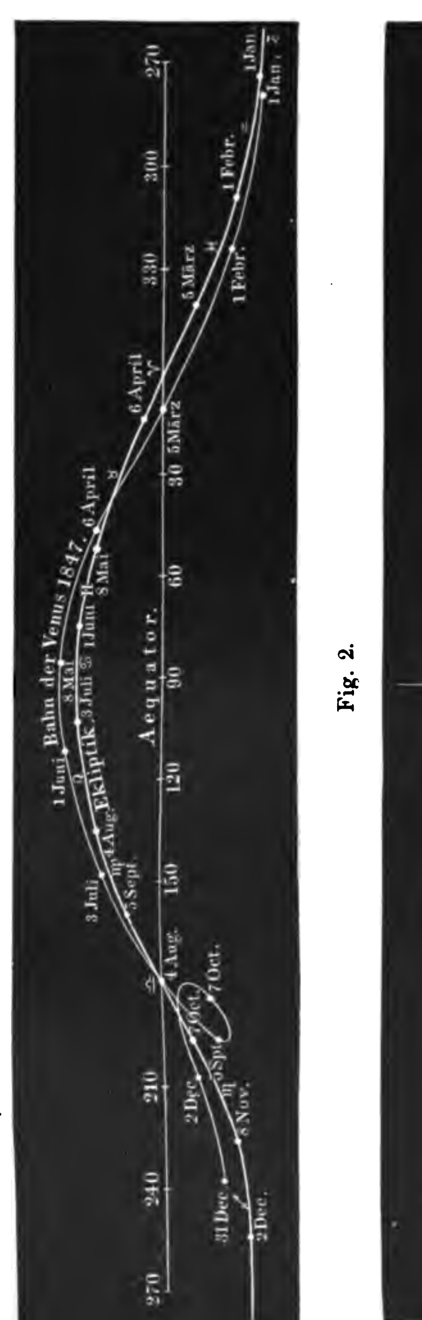


Fig. 1.

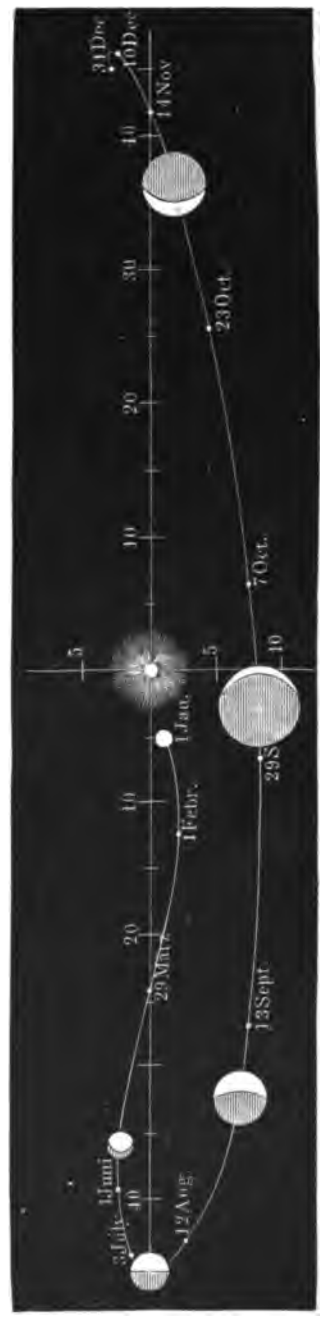
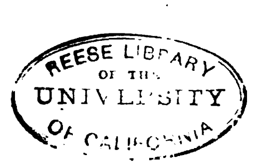


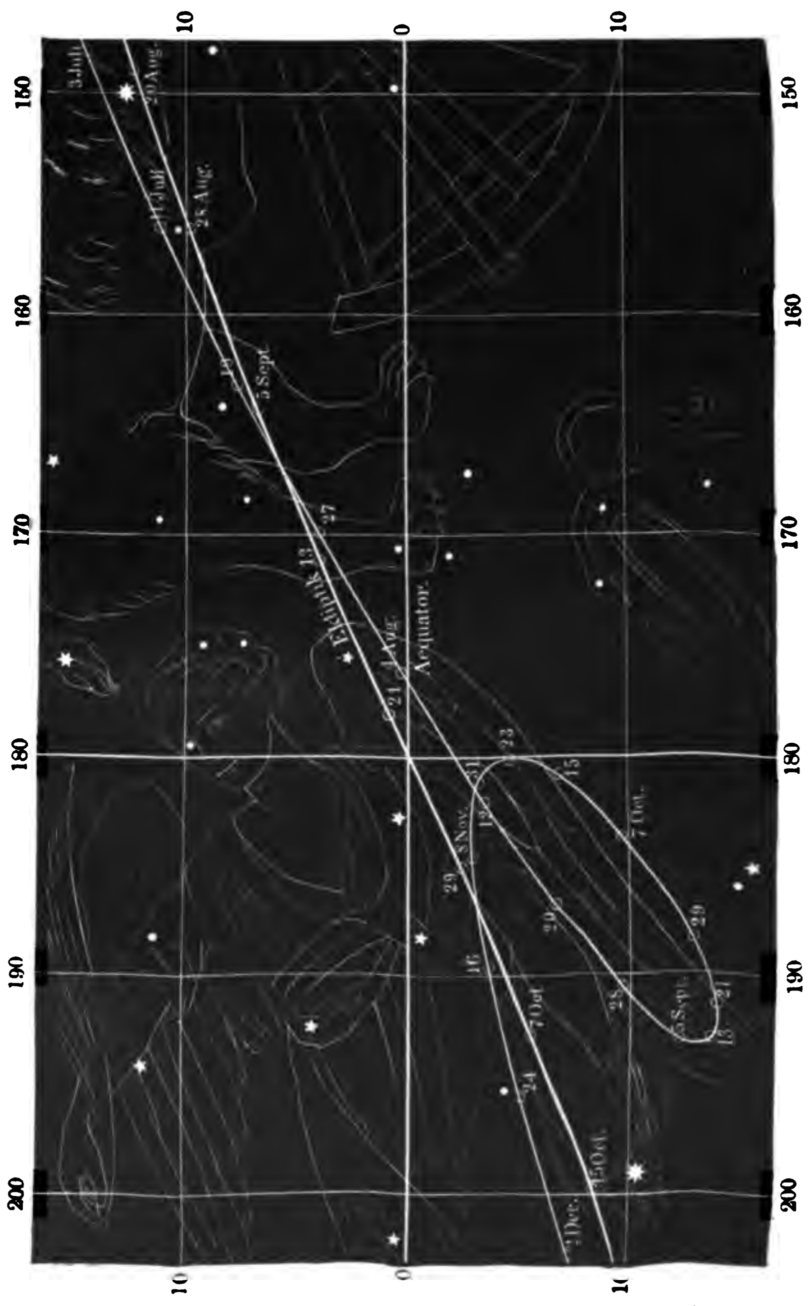
Fig. 2.

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

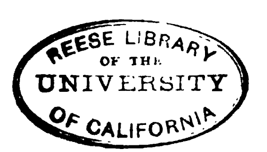


Tab. 4.

Bahn der Venus vom 3. Juli bis zum 2. December 1847.

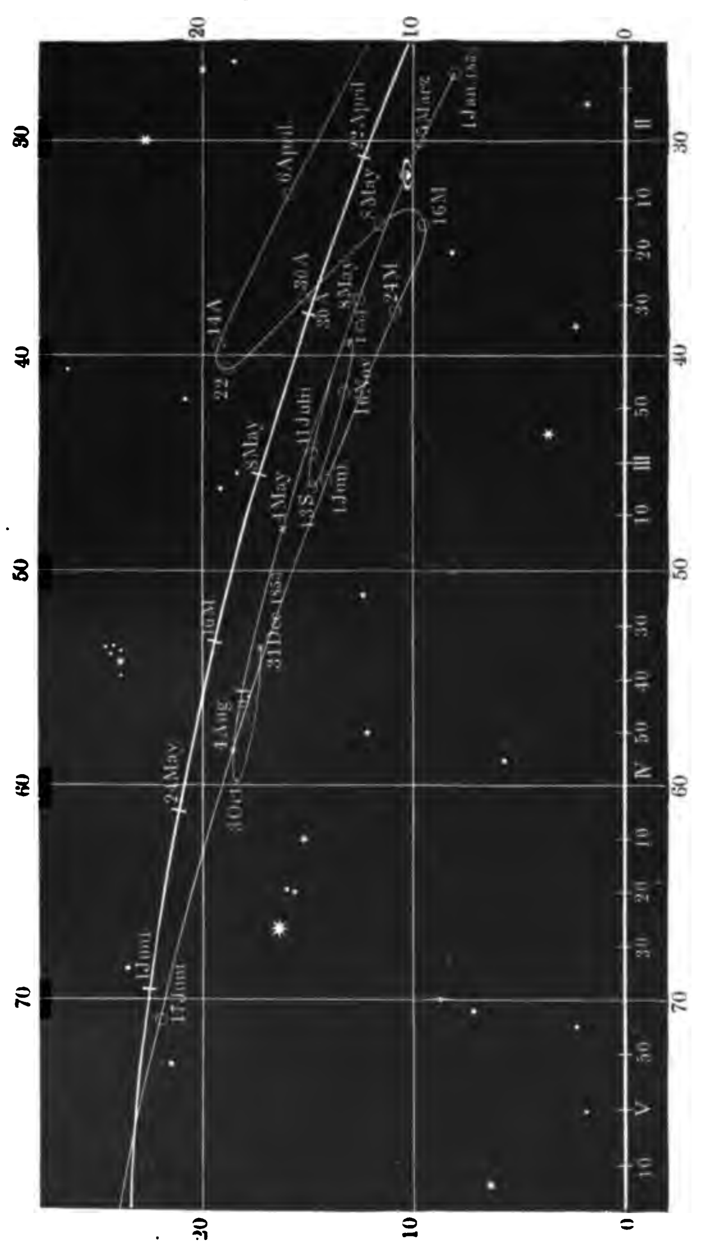


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.



Tab. 5.

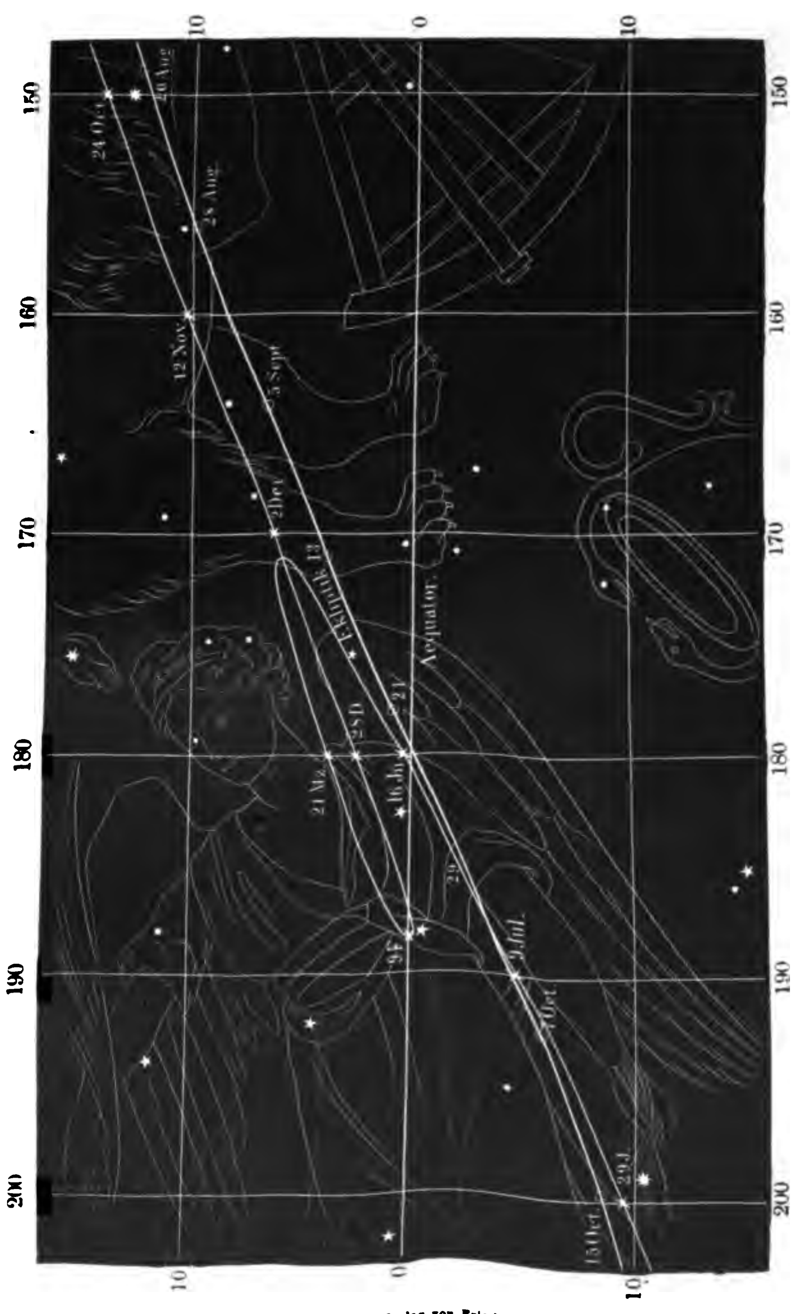
Bahn des Saturn in den Jahren 1852 und 1853 und des Merkur vom 6. April bis zum 17. Juni 1852.



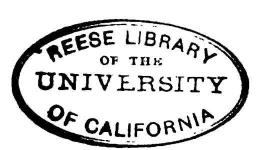
Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Tab. 6.

Bahn des Mars vom 24. October 1870 bis zum 9. Juli 1871.

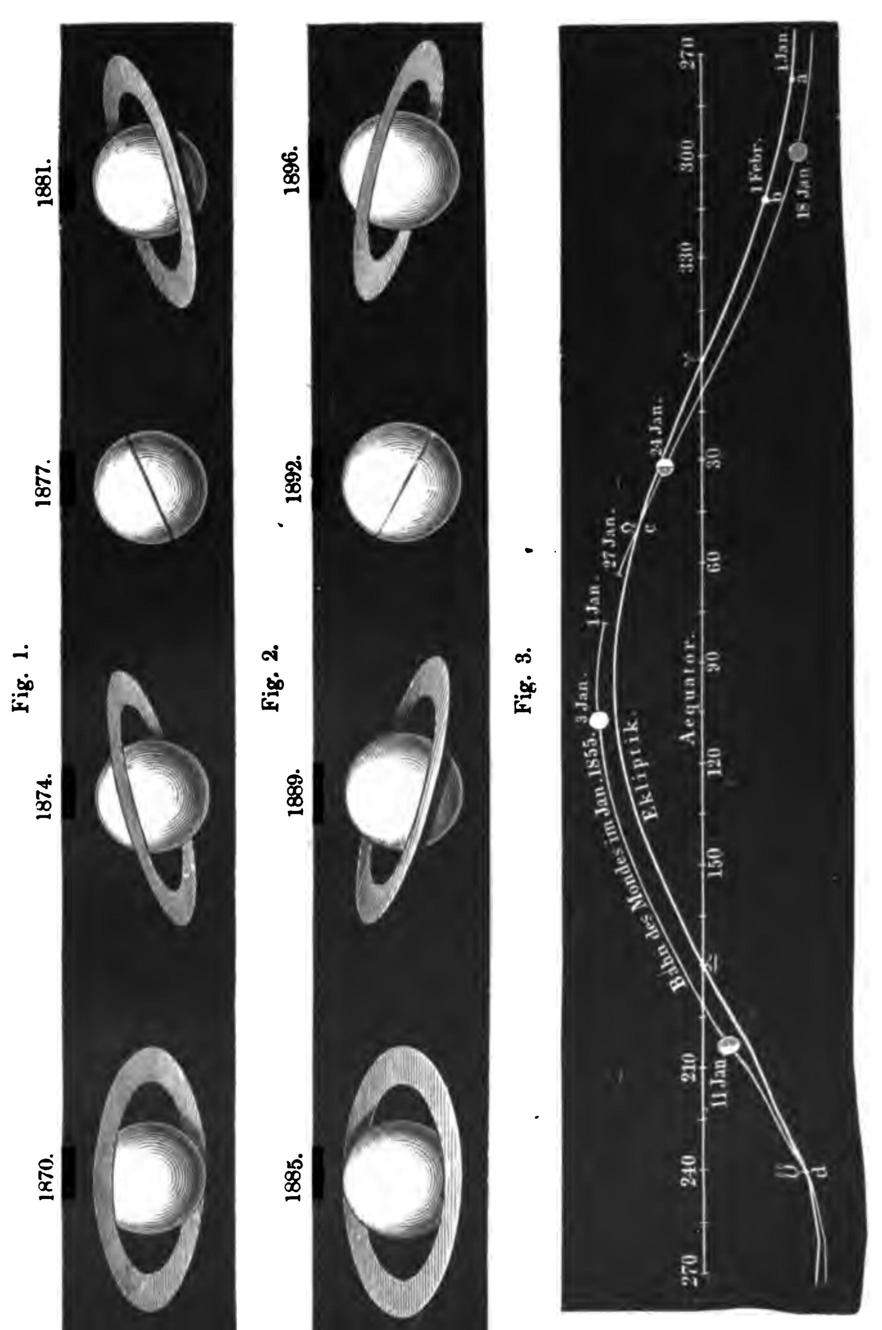


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.



Tab. 7.

Saturn 1870 bis 1896. Bahn des Mondes im Januar 1855.



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Niedersteigender und aufsteigender Knoten der Mondbahn im Frühlingspunkte.

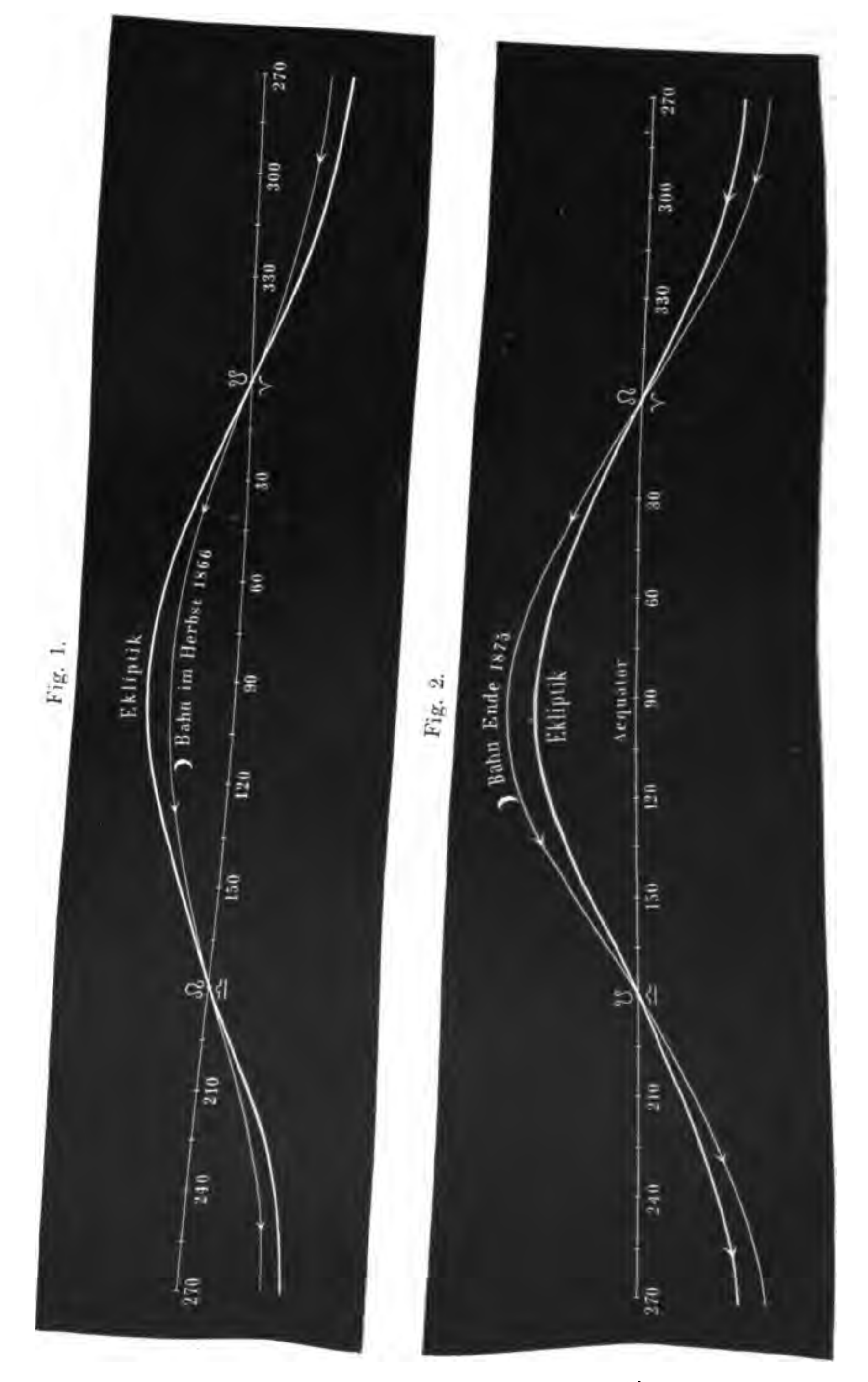
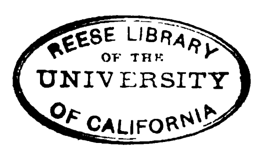


Fig. 1.

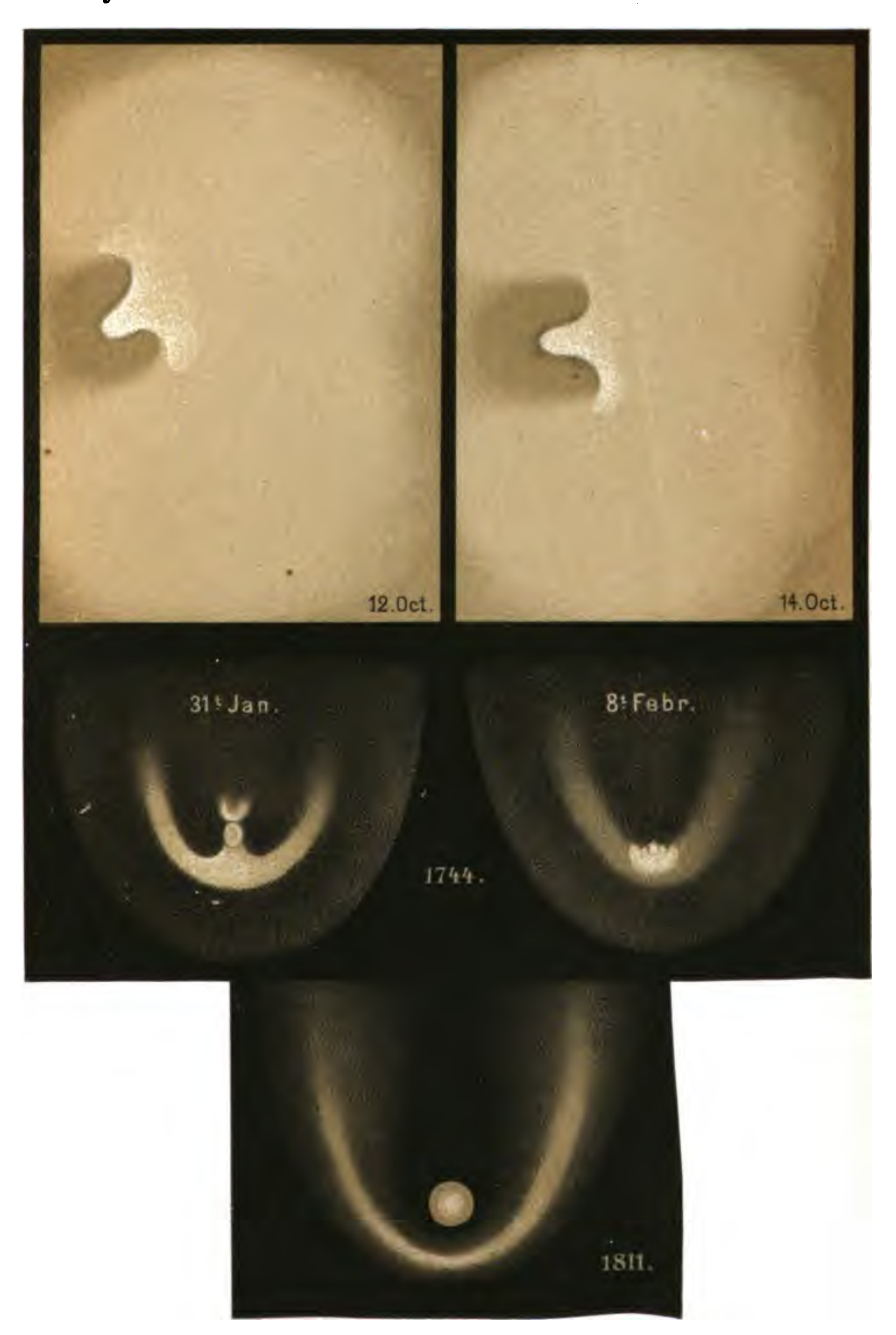
Fig. 2.

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.



Tab. 9.

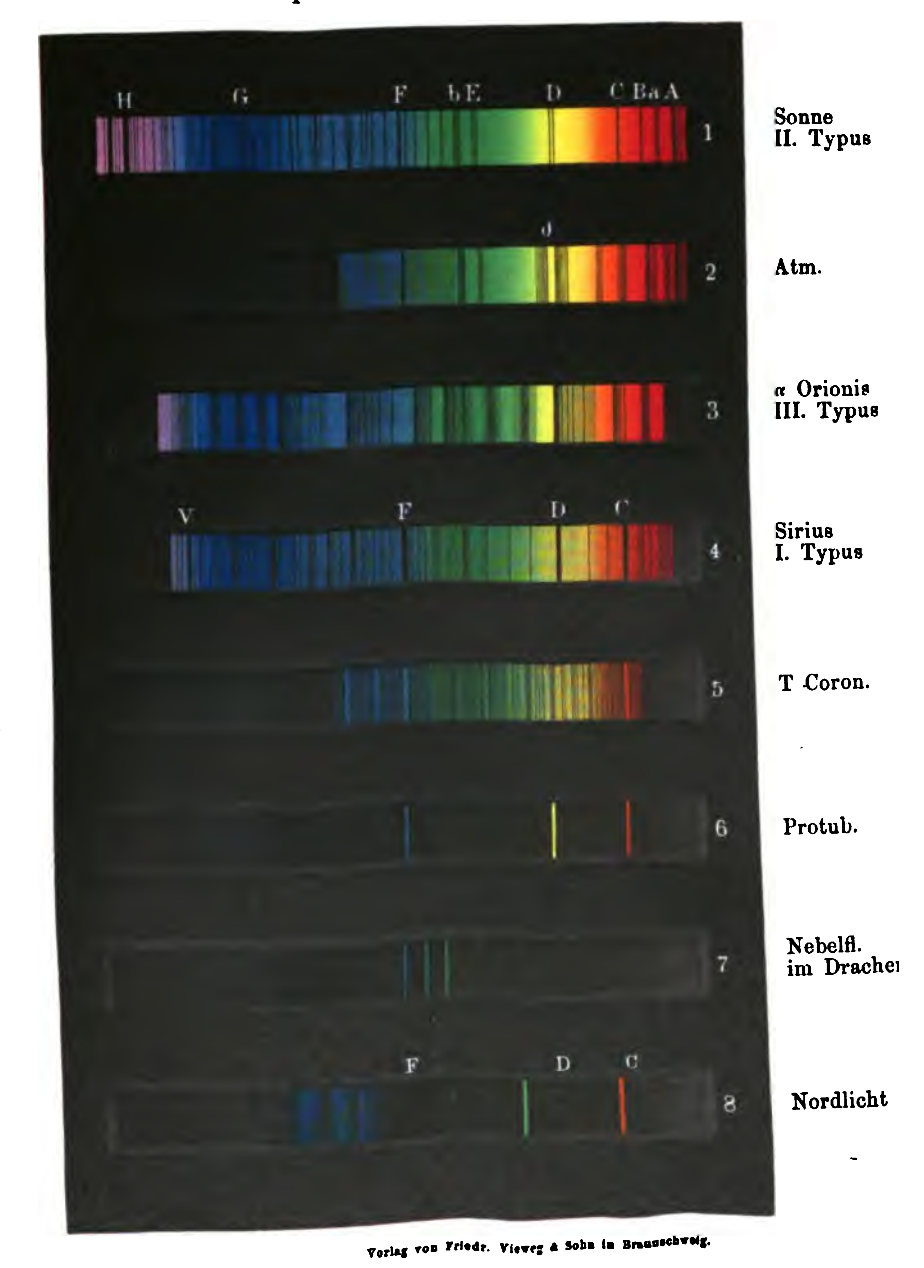
Halley'scher Komet im October 1835. Kometen der Jahre 1744 und 1811.



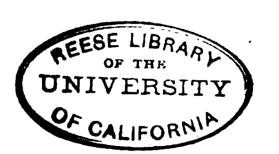
Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig

Tab. 10.

Spectral-Tafel.



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.



Tab. 11.

Demonstrationsfiguren zur Theorie des Regenbogens.

Fig. 1.

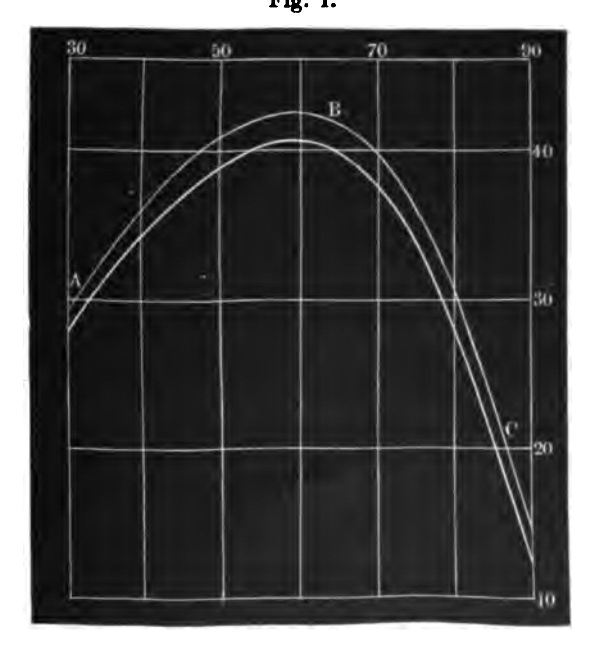
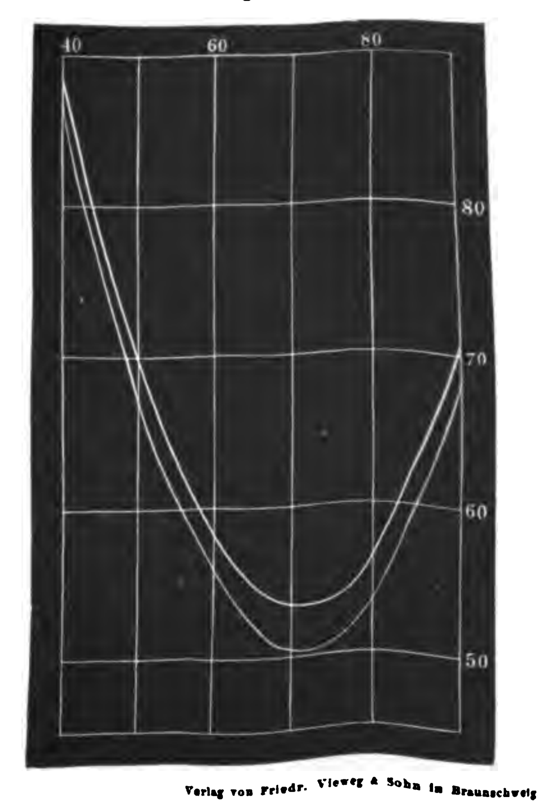
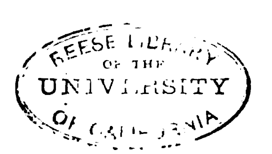


Fig. 2.

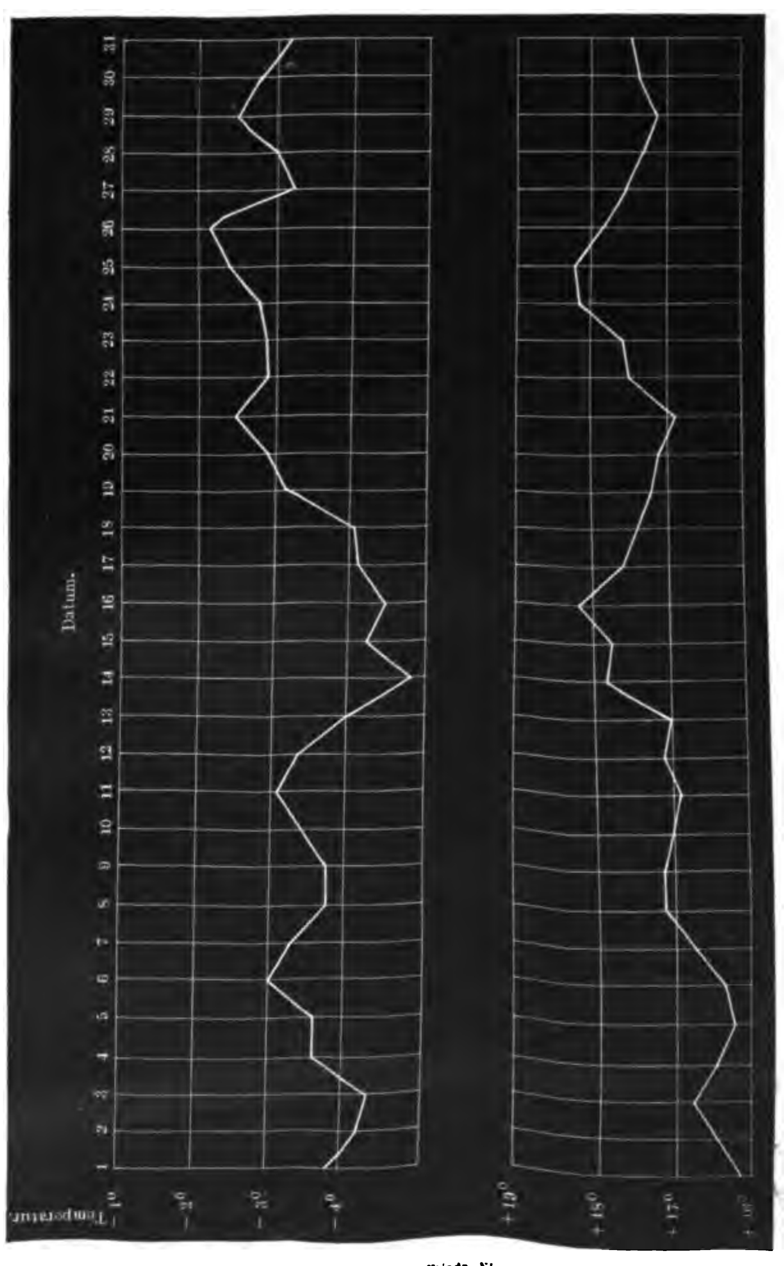


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.



Tab. 12.

Curven der täglichen Temperatur im Januar und Juli für Königsberg.



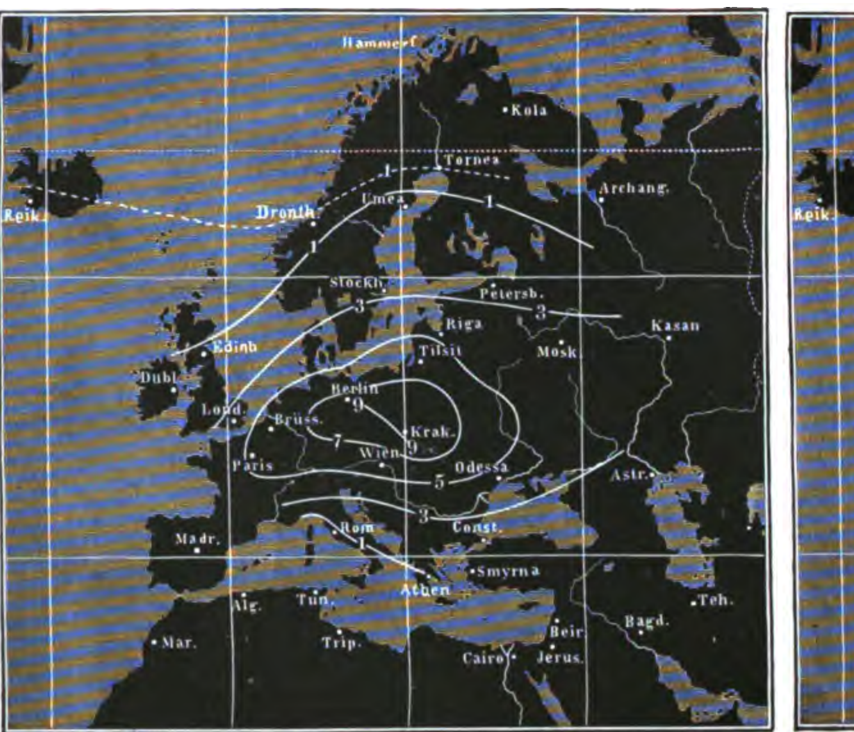
Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig


REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF CALIFORNIA

Tab. 13.

Abweichung von der normalen Vertheilung der Temperatur in Europa im December 1829 und im Februar 1845.

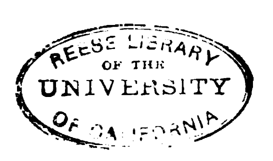
Fig. 1. Fig. 2.



December 1829 ——— zu kalt --------- zu warm.

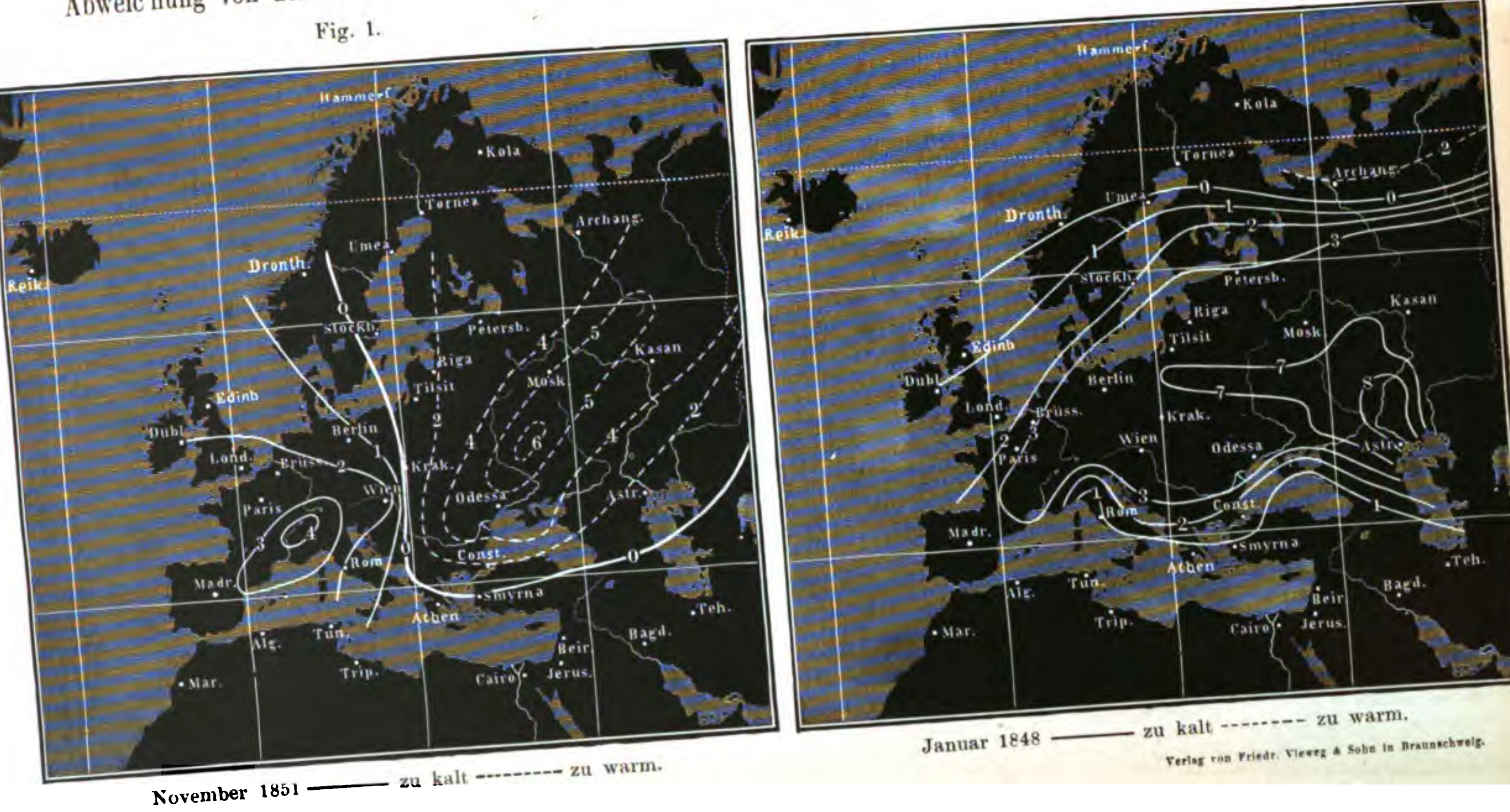
Februar 1845 ——— zu kalt.

Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

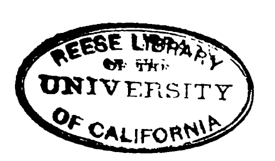


Tab. 14.

Abweichung von der normalen Vertheilung der Temperatur in Europa im November 1851 und im Januar 1848.

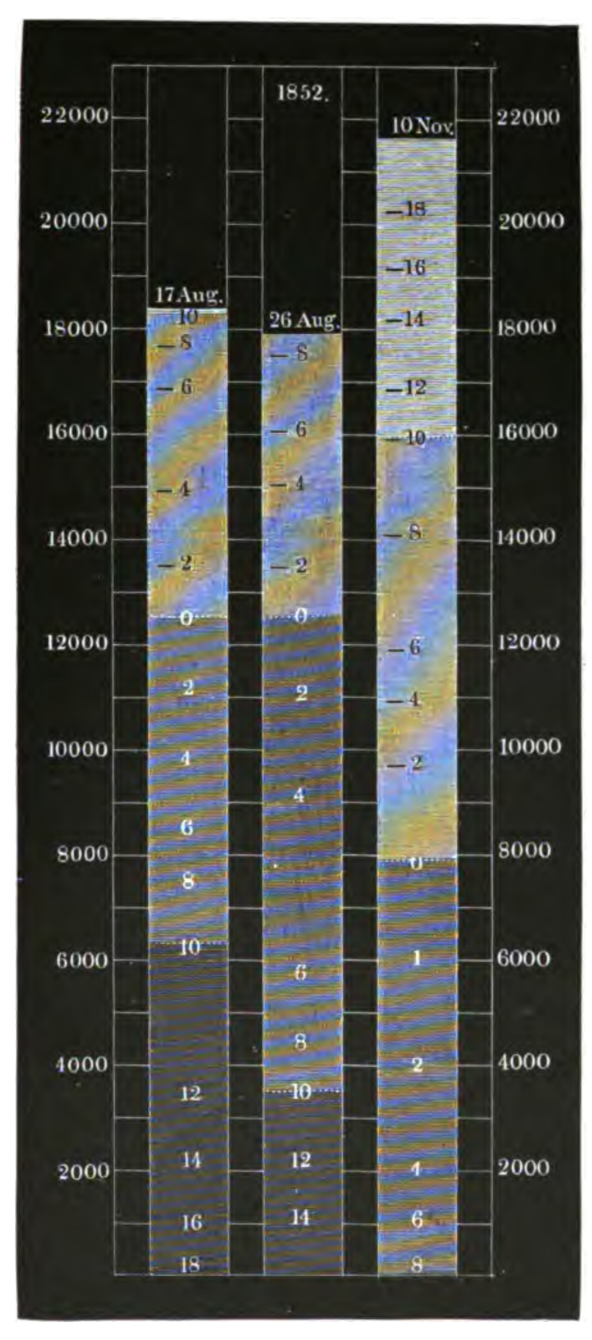


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.



Tab. 15.

Abnahme der Temperatur mit der Höhe, beobachtet bei Luftballon-Fahrten.

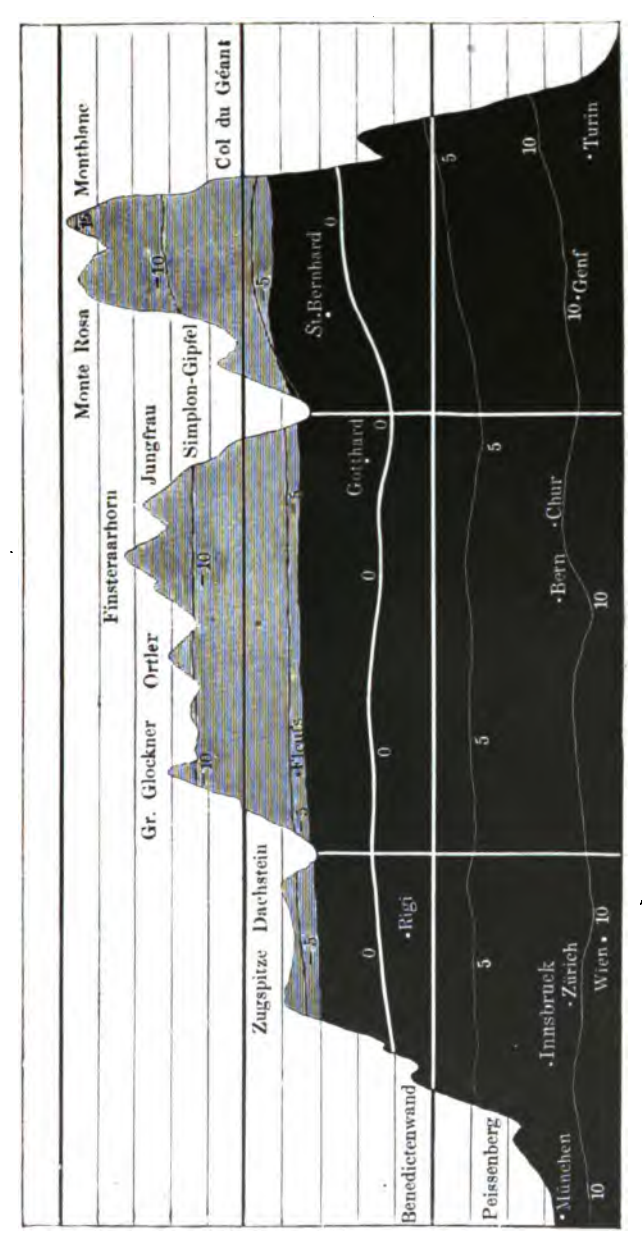


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

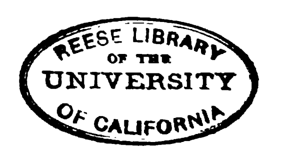


Tab. 16.

Die Jahres-Isothermen in den Alpen.

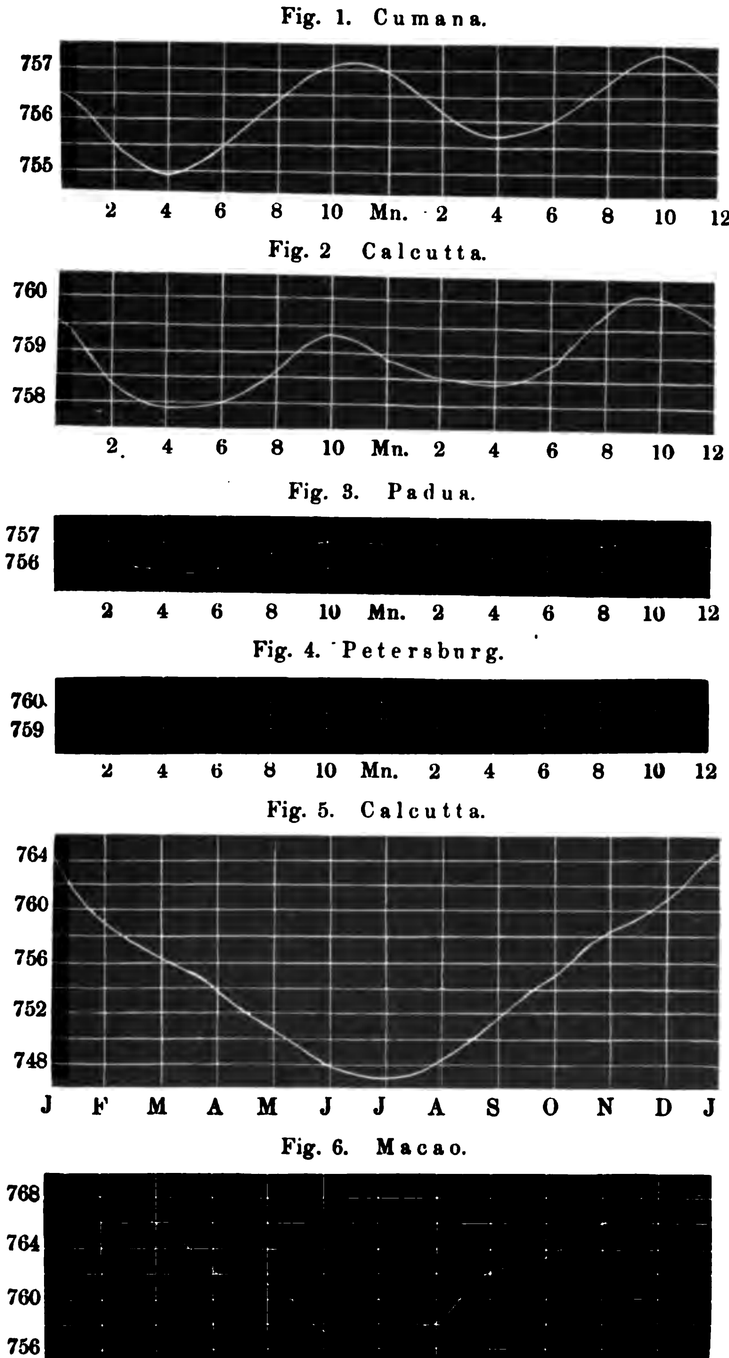


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

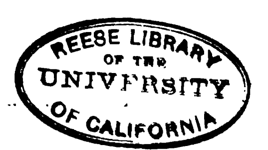


Tab. 17.

Tägliche und jährliche Variationen des Barometerstandes.



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.


REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF CALIFORNIA

Tab. 18.

Variationen des Barometerstandes in Paris, Petersburg und der Schweiz. Mittlere Barometerstände in verschiedenen Breiten.

Fig. 1. Paris.

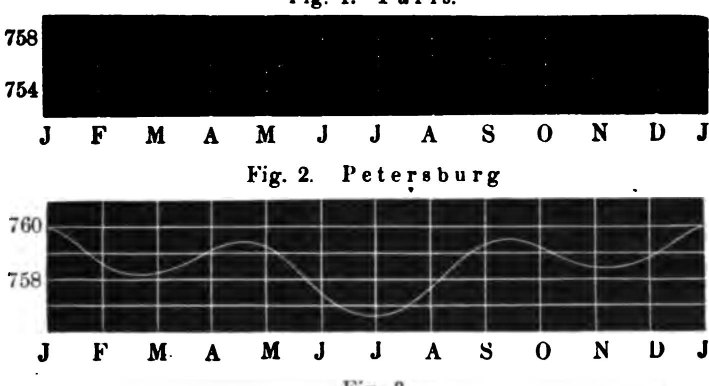


Fig. 2. Petersburg

Fig. 3.

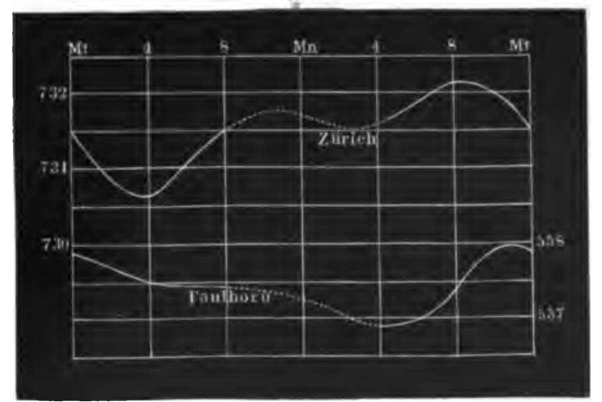
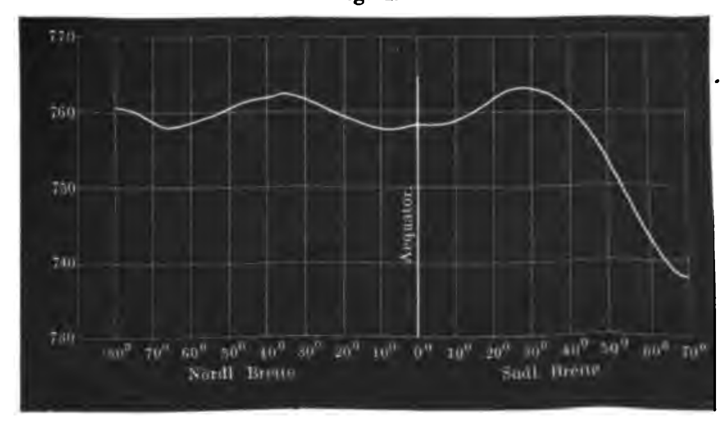


Fig. 4.

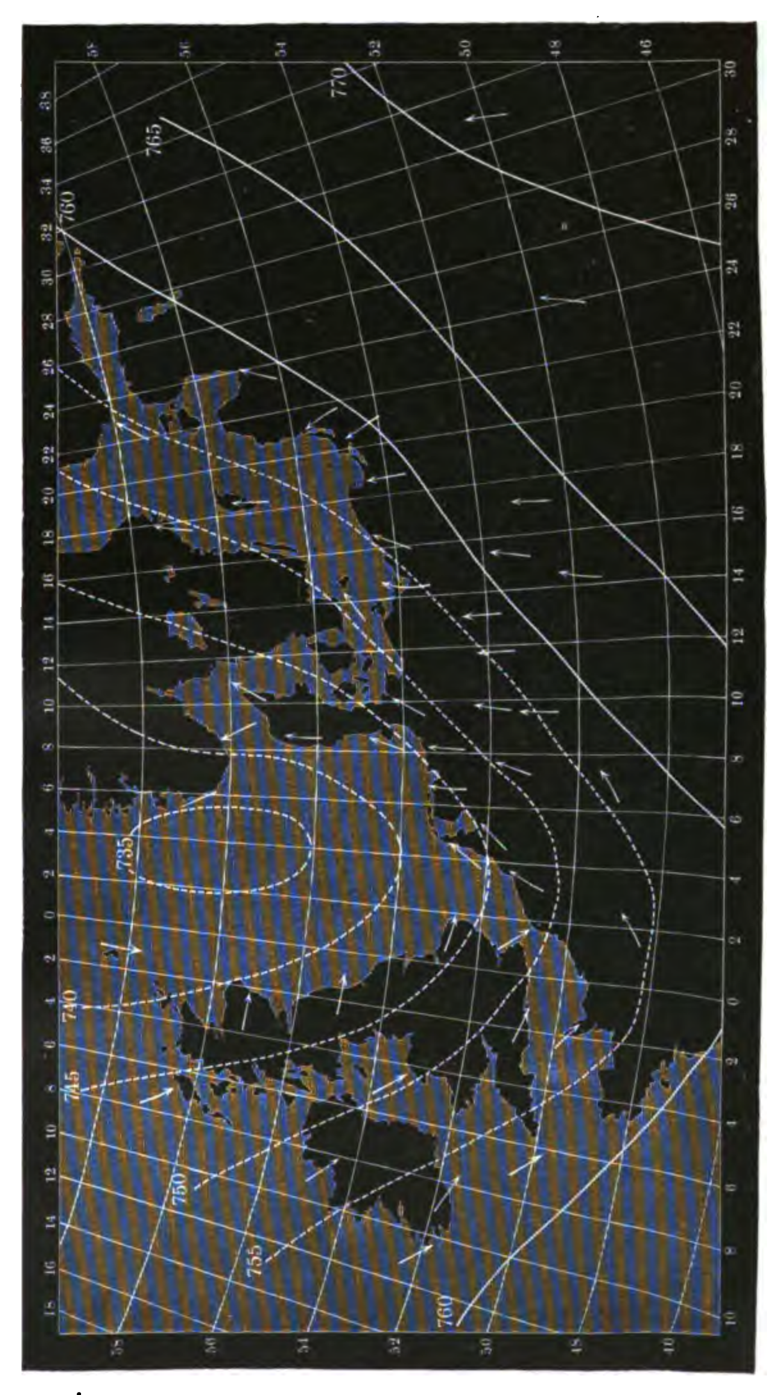


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

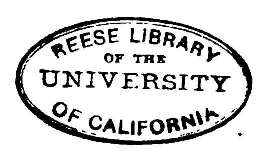


Tab. 19.

Isobaren und Winde am 25. Nov. 1889. 8h Morg.

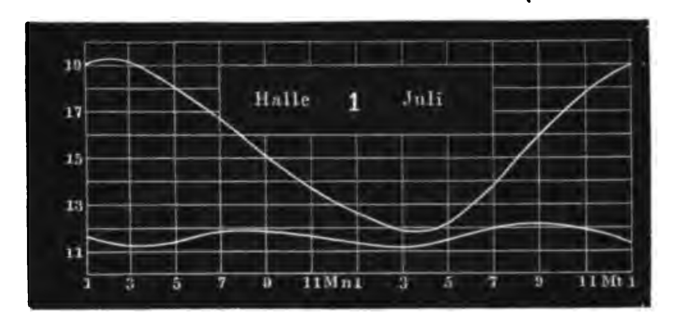


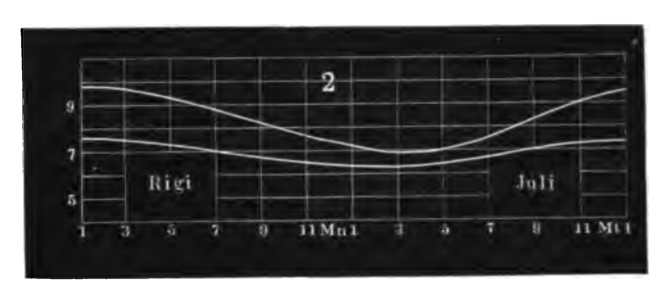
Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

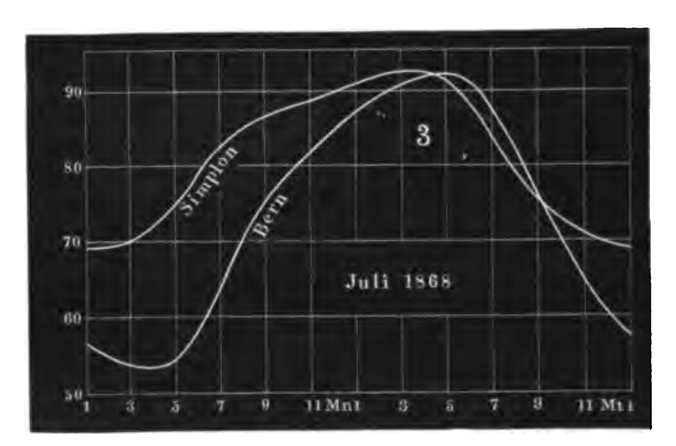

REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF CALIFORNIA

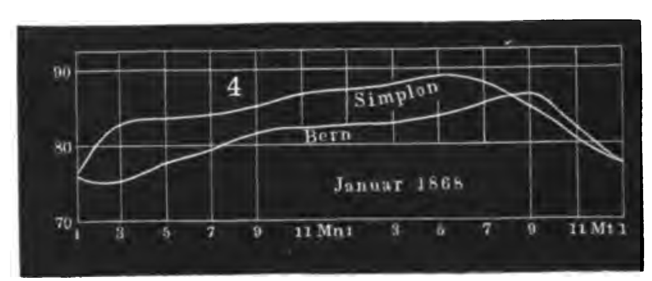
Tab. 20.

Atmosphärische Feuchtigkeit.

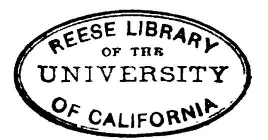






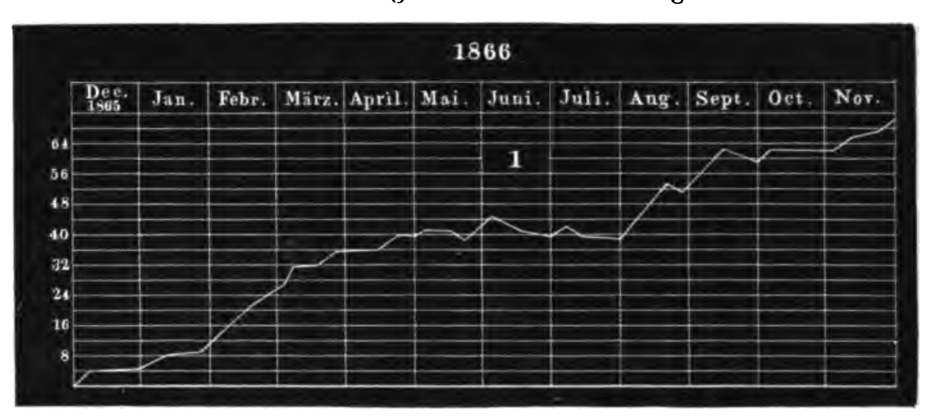


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

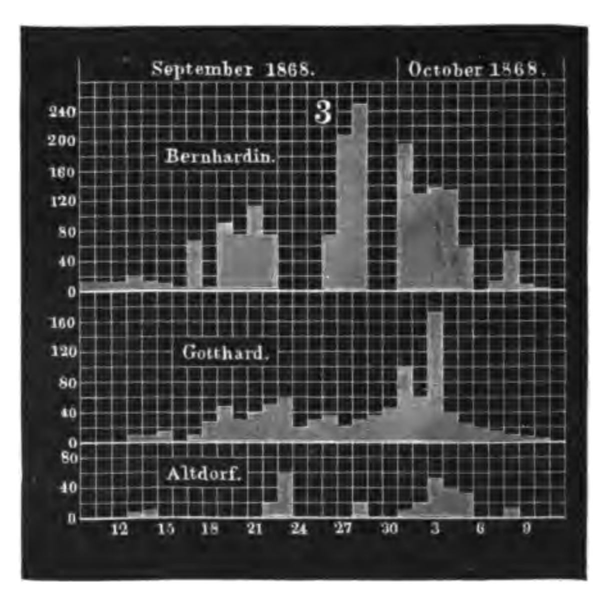


Tab. 21.

Verdunstung und Niederschläge.





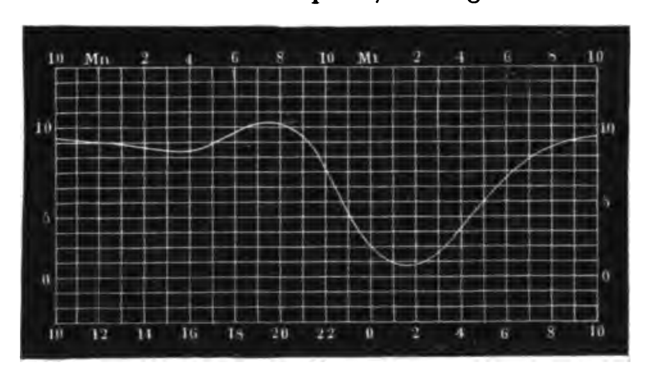


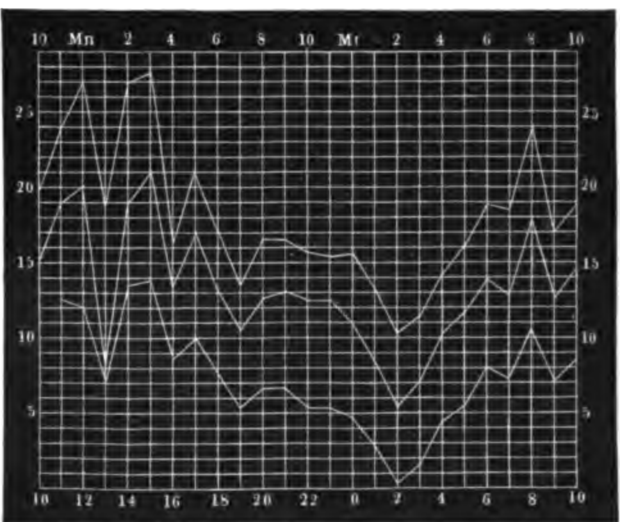
Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

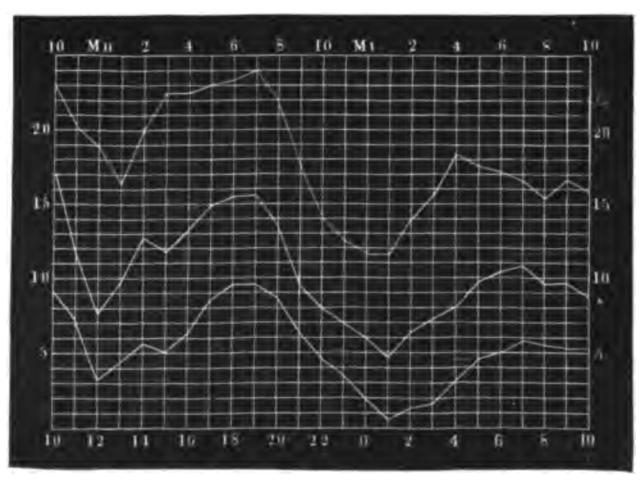

REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF CALIFORNIA

Tab. 22.

Tägliche Variationen der Declination zu Göttingen. Terminsbeobachtungen vom 26. und 27. Februar 1841 und vom 28. und 29. Mai 1841 zu Upsala, Göttingen und Mailand.



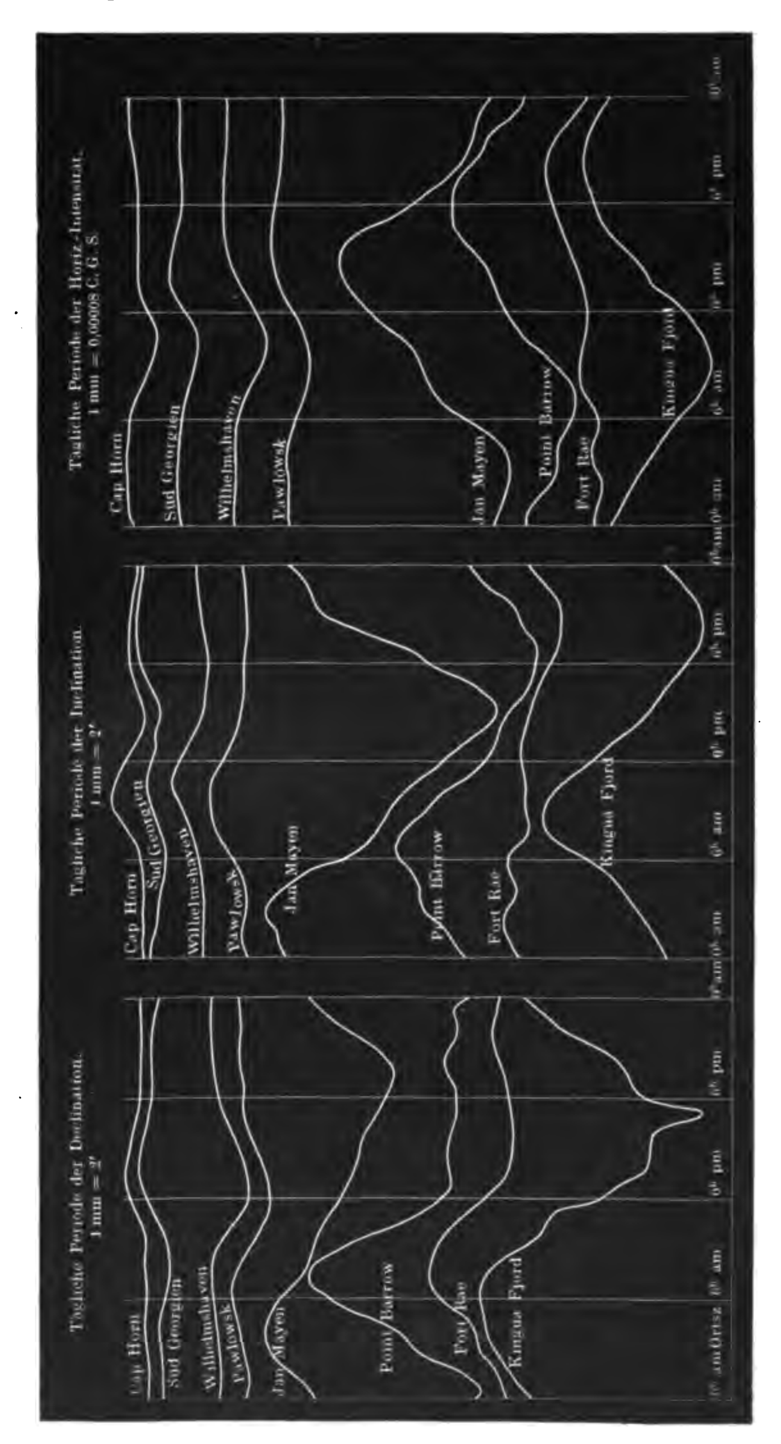




Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Tab. 23.

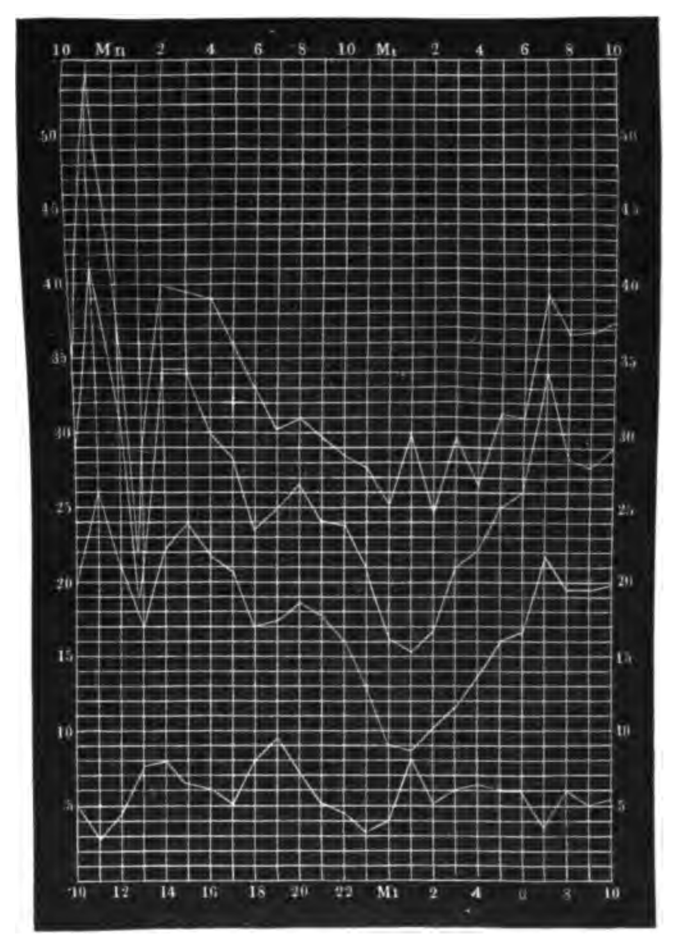
Tägliche Periode der magnetischen Elemente.

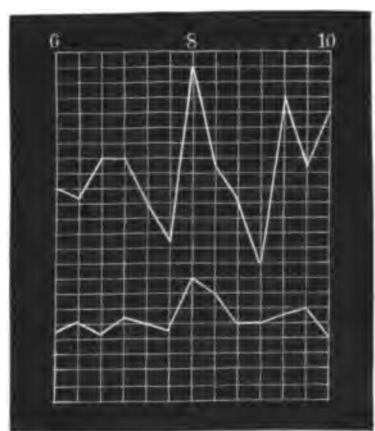


Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Tab. 24.

Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841 zu Upsala, Göttingen, Mailand und dem Cap d. g. H. Störungen der Declination während eines Nordlichts.

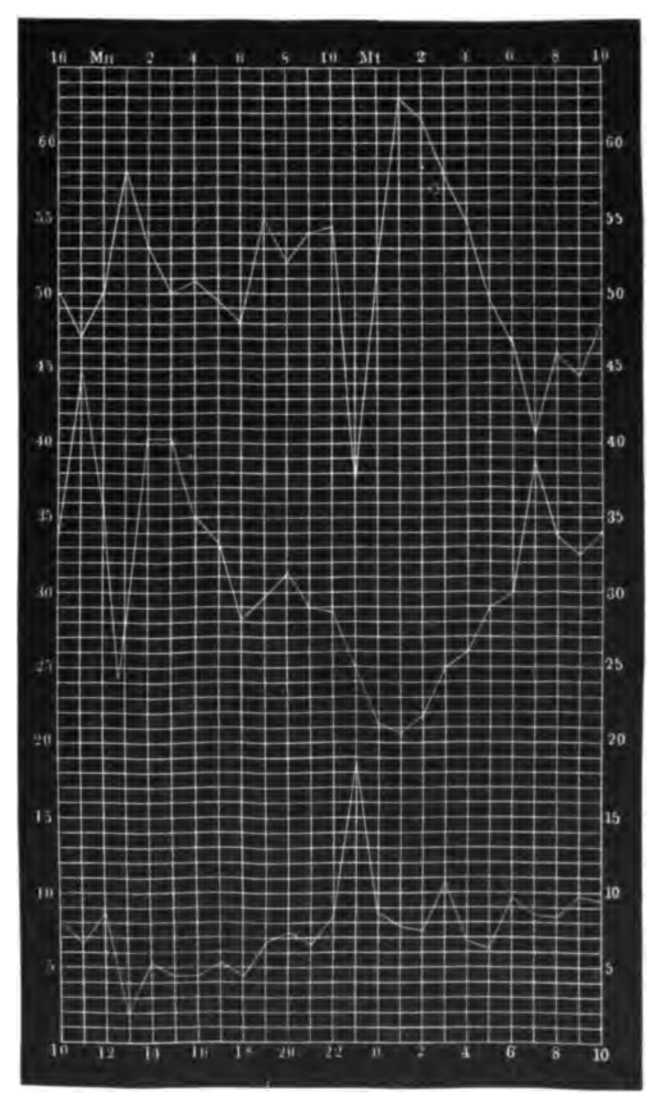




Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

Tab. 25.

Terminsbeobachtungen vom 27. und 28. August 1841, zu Toronto, Göttingen und Nertschinsk.



Verlag von Friedr. Vieweg & Sohn in Braunschweig.

13.0

